



FABRICO E ENSAIO BALÍSTICO EM CONDIÇÕES REAIS DE CONCEITO MELHORADO DE UM PROJÉTIL DE DETONAÇÃO MECÂNICA

Carlos Filipe Marques Castanheira

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica

Júri

Presidente: Professor Doutor Rui Manuel dos Santos Oliveira Baptista
Orientador: Professor Doutor Pedro Miguel dos Santos Vilaça da Silva
Coorientador: Tenente-Coronel Eng. Mat. João Paulo Barreiros Pereira da Siva
Vogais: Professor Doutor José Alberto de Jesus Borges
Major Art^a João Manuel da Cruz Seatra

Lisboa, Outubro de 2012

AGRADECIMENTOS

Este é um agradecimento muito sincero a um conjunto de pessoas e instituições, que tornaram possível a realização deste projeto.

Ao meu orientador, o Senhor Professor Doutor Pedro Miguel dos Santos Vilaça da Silva, por ter encorajado e apoiado fortemente a realização deste projeto.

Ao meu coorientador, o Senhor Tenente-Coronel Engenheiro de Material João Paulo Pereira da Silva, por toda a dedicação, apoio e disponibilidade que emprestou a este projeto e à minha formação enquanto futuro Oficial do Serviço de Material.

Ao Senhor Professor Doutor José Borges e ao Senhor Major de Artilharia João Seatra pelo importante contributo e trabalho que deram a este projeto.

Ao Senhor Coronel Tirocinado Ulisses de Oliveira por todo o apoio e disponibilidade prestado a este projeto.

Aos oficiais, sargentos e funcionários civis das Oficinas Gerais de Material de Engenharia pelo apoio e dedicação a este projeto e à minha formação em quanto futuro Oficial do Serviço de Material.

À Escola Prática de Artilharia pelo apoio prestado a este projeto.

Ao Capitão Quinto e ao Tenente Balula pelo esclarecimento de dúvidas relativas ao desenvolvimento e investigação do projeto FIREND® nos anos anteriores.

Ao Aspirante João Calado e ao Aspirante João Santo pelo apoio e trabalho que deram a este projeto.

Aos meus amigos e colegas do Instituto Superior técnico: José Pedro Sousa, André Oliveira e João Gandra por todo o apoio a este projeto.

Aos meus grandes amigos e camaradas da Academia Militar, que me acompanham desde do meu primeiro ano de entrada na Academia Militar: André Ribeiro, André Graça, Jorge Costa, André Botica, Valter Henriques, André Silva, António Gil, Nuno Rodrigues, Tiago Santos, Humberto Costa e João Monteiro por tudo o que conquistamos juntos.

E por último, aos meus familiares, especialmente aos meus pais e à minha irmã, por todo o amor e carinho que sempre me dedicaram.

RESUMO

A floresta constitui uma das riquezas naturais com maior valor em todo o planeta, assumindo uma vital importância em termos ambientais e económicos, nomeadamente para Portugal.

Neste projeto desenvolve-se um potencial meio de combate a incêndios florestais, com base num conceito inovador e complementar aos atuais meios aplicados no combate a este tipo de flagelo.

Este projeto de investigação visa o desenvolvimento de um projétil de detonação mecânica, logo inerte, para aplicação no combate a incêndios florestais, e enquadra-se no âmbito de uma parceria alargada de colaboração em I&D entre a Academia Militar e o Instituto Superior Técnico. O conceito deste produto, ao qual foi atribuído o acrónimo: FIREND[®], foi, inicialmente, desenvolvido no âmbito de um projeto de I&D da Academia Militar.

Neste projeto realiza-se o desenvolvimento final do conceito do produto, incluindo a verificação de aspetos chave no projeto mecânico, seleção e aquisição de materiais e fabrico de protótipos para ensaios balísticos em condições reais.

Os resultados de funcionalidade e eficiência são apresentados nas fases estabilidade em voo, impacto com o solo, detonação, projeção e dispersão da carga para o exterior e análise de recuperação dos componentes do FIREND[®], após utilização.

Tendo em conta os resultados obtidos relativos ao funcionamento do FIREND[®] durante o disparo do Obus, voo, impacto no solo e detonação e ainda o estado geral dos componentes após os ensaios, pode-se concluir que se trata de um projeto viável.

PALAVRAS – CHAVE

Projétil de Artilharia de Detonação Mecânica

Combate a Incêndios

Desenvolvimento de Produto

Produção de Protótipo

Tiro de Artilharia

Análise de Funcionalidade

ABSTRACT

The forests is one of the most important natural wealth of the planet, assuming a vital importance in environmental and economic terms, namely to Portugal.

This project is a development of a potential forestal fire fighting mean, with basis on an innovator concept and complementary with the actual applied fighting means to this type of calamity.

This project of development of a mechanical detonation projectile, therefore inert, for the application to forestal fire fighting, runs within the cooperative R&D activities between the Academia Militar and the Instituto Superior Técnico. The product's concept, which was given the acronym: FIREND[®], initially was developed on the scope of an Academia Militar's R&D project.

This project accomplishes the product's final development, including key aspects on mechanical design, selection and acquisition of the materials and the prototype's manufacture to test under real conditions of artillery shooting.

The functionality and efficiency results are presented in the following stages, namely impact with the ground, detonation, internal load projection to the exterior and the FIREND[®]'s component recovery analysis, in post-applied condition.

The obtained results show that the function of the FIREND[®], during the artillery shooting, the flight, the impact on the ground and the detonation worked in according to the expected, making the FIREND[®] projectile a viable project.

KEY – WORDS

Artillery's Mechanical Detonation Projectile

Fire Fighting

Product's Development

Prototype Production

Artillery shot

Functionality Analysis

ÍNDICE

Agradecimentos.....	I
Resumo	II
PALAVRAS – CHAVE.....	II
Abstract	III
Key – Words	III
Índice.....	V
Lista de Figuras	VII
Lista de Tabelas	X
Nomenclatura	XI
1. Introdução.....	1
1.1. Contexto Geral	1
1.2. Objectivos	3
1.3. Estrutura da Dissertação	3
2. Estado da Arte	5
2.1. Introdução do projétil FIREND® no combate aos incêndios florestais	5
2.2. Evolução Histórica do Conceito	7
2.3. Aspectos técnicos da última versão do projétil	9
2.3.1. Composição dos Subsistemas da Versão Anterior.....	10
2.3.2. Materiais Seleccionados para os Componentes da Versão Anterior	15
3. Análise Técnica do Novo Conceito	17
3.1. Subsistemas Constituintes do Projétil	17
3.2. Subsistema Corpo do Projétil	17
3.3. Subsistema Cinta de Travamento	19
3.4. Subsistema Espoleta	22
3.5. Subsistema Membrana Fusível	25
3.6. Subsistema Ejecção de Carga	26
3.7. Subsistema Compartimento de Carga	29
3.8. Subsistema Dummy	29
4. Fabrico do Projétil FIREND®	31
4.1. Processo de Fabrico	31
4.1.1. Modelação Tridimensional e Desenho Técnico.....	31

4.1.2.	Seleção dos Processos de Fabrico	32
4.1.3.	Definição e preparação da matéria-prima	32
4.1.4.	Seleção das ferramentas e dos parâmetros de corte	32
4.1.5.	Programação da linguagem de código para torno CNC	33
4.2.	Sequência de Montagem	34
4.3.	Equipamento Auxiliar de Montagem	35
4.3.1.	Chave de Furos	35
4.3.2.	Chave de Suporte	36
4.3.3.	Chave TAMAC	38
4.3.4.	Prensa	38
5.	Ensaio de Funcionalidade	41
5.1.	Objectivos	41
5.2.	Procedimento experimental	41
5.3.	Condições experimentais	42
5.4.	Resultados experimentais	43
6.	Conclusões	49
7.	Trabalhos Futuros	51
	Referências Bibliográficas	53
	Bibliografia	55
	Anexos	1
Anexo 1.	Dimensionamento da Mola	1
Anexo 2.	Verificação da resistência dos pernos	2
Anexo 3.	Equipamento de Medição de Durezas	3
Anexo 4.	Ensaio de Dureza	4
Anexo 5.	Dados de Fabrico do Projétil	5
Anexo 6.	Programação	8
Anexo 7.	Plano de Ensaio	17
Anexo 8.	Desenho de Conjunto	19

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Método direto de combate a incêndios florestais.....	5
Figura 2.2 – Método indireto de combate a incêndios florestais	6
Figura 2.3 – Método combinado de combate a incêndios florestais	6
Figura 2.4 – Frente batida por uma Bateria de Artilharia de Campanha	7
Figura 2.5 – Processo de engenharia inversa.....	7
Figura 2.6 – Conceito original.....	8
Figura 2.7 – Subsistema de ejeção de carga.....	9
Figura 2.8 – Subsistema tampa do compartimento de carga.....	9
Figura 2.9 – Subsistema cinta de travamento.....	9
Figura 2.10 – Subsistema espoleta	9
Figura 2.11 – Subsistema fusível (membrana fusível).....	9
Figura 2.12 – Subsistema compartimento de carga	9
Figura 2.13 – Evolução histórica do conceito.....	9
Figura 2.14 – Vista exterior do projétil	10
Figura 2.15 – Vista interior do projétil	10
Figura 2.16 – Corpos do projétil	10
Figura 2.17 – Cinta de travamento	11
Figura 2.18 – Peças constituintes do subsistema espoleta	12
Figura 2.19 – Subsistema espoleta montado.....	12
Figura 2.20 – Componentes do subsistema membrana fusível	13
Figura 2.21 – Subsistema membrana fusível montado	13
Figura 2.22 – Componentes do subsistema ejeção da carga.....	13
Figura 2.23 – Componentes do subsistema montados	14
Figura 2.24 – Peças constituintes do subsistema	14
Figura 2.25 – Subsistema montado.....	14
Figura 2.26 – Saco.....	15
Figura 3.1 – Vista exterior do projétil	17
Figura 3.2 – Vista Interior do Projétil.....	17
Figura 3.3 – Corpo do projétil atual.....	17
Figura 3.4 – Roscas do corpo principal.....	18
Figura 3.5 – Corpo principal anterior e atual.....	18
Figura 3.6 – Detalhe da espessura do corpo principal na versão anterior e atual	19
Figura 3.7 – Cinta de travamento	19
Figura 3.8 – Esquema da matriz das indentações em cruz	20
Figura 3.9 – Ensaio de dureza Vickers	20
Figura 3.10 – Corte transversal da cinta de travamento atual	21
Figura 3.11 – Pormenor da zona roscada da cinta de travamento	21
Figura 3.12 - Corpo principal do projétil e cinta de travamento.....	22
Figura 3.13 – Componentes do atual subsistema espoleta.....	23
Figura 3.14 – Subsistema espoleta montado.....	23

Figura 3.15 – Subsistema espoleta na versão anterior [2]	24
Figura 3.16 – Subsistema espoleta na versão atual.....	24
Figura 3.17 – Componentes do subsistema membrana fusível.....	25
Figura 3.18 – Subsistema membrana fusível montado	25
Figura 3.19 – Constituintes do subsistema ejeção de carga	26
Figura 3.20 – Subsistema ejeção de carga montado	26
Figura 3.21 – Subsistema ejeção de carga.....	27
Figura 3.22 – Êmbolo.....	27
Figura 3.23 – Ligação entre o veio e a tampa.....	28
Figura 3.24 – Tampa em corte	28
Figura 3.25 – Placa estanque.....	29
Figura 3.26 – Processo de fabrico do dummy.....	30
Figura 3.27 – Dummy	30
Figura 4.1 – Modelação tridimensional e desenho técnico dos componentes.....	31
Figura 4.2 – Torno CNC Litz Hitech LT-400M.....	32
Figura 4.3 – Torreta do torno CNC	33
Figura 4.4 – Dispositivo de fixação.....	33
Figura 4.5 – Consola de controlo/programação	33
Figura 4.6 – Sequência de Montagem.....	35
Figura 4.7 – Chave de furos.....	36
Figura 4.8 – Chave de furos com chave de bocas	36
Figura 4.9 – Punção apertado pela chave de furos.....	36
Figura 4.10 – Suporte da matriz apertado pela chave de furos	36
Figura 4.11 – Chave de Suporte	36
Figura 4.12 – Ligação entre o punção e a espoleta com auxílio das chaves	37
Figura 4.13 – Espoleta com chave de suporte.....	37
Figura 4.14 – Ligação entre o chassis de suporte e o suporte da matriz com auxílio das chaves	37
Figura 4.15 – Chassis de suporte com chave de suporte.....	37
Figura 4.16 – Ligação da membrana fusível com o veio com o auxílio da chave de suporte	37
Figura 4.17 – Veio com chave francesa	37
Figura 4.18 – Chave TAMAC	38
Figura 4.19 – Chave TAMAC com corpo de acoplamento	38
Figura 4.20 – Chave TAMAC desmontada	38
Figura 4.21 – Prensa 1.....	39
Figura 4.22 – Prensa 2.....	39
Figura 4.23 – Macaco hidráulico e respetivas especificações técnicas	39
Figura 4.24 - Deformações de trabalho (aumentado 213x)	40
Figura 4.25 – Tensão de trabalho (Tensão Equivalente de Von Mises).....	40
Figura 4.26 – Deformações em carga máxima (aumentada 37x)	40
Figura 4.27 – Tensões em carga máxima (Tensão Equivalente de Von Mises).....	40
Figura 4.28 – Prensa hidráulica para montagem do projétil	40
Figura 5.1 – Cartucho M14.....	42

Figura 5.2 – Munição FIREND	42
Figura 5.3 – Obus M101 A1 105mm/22	42
Figura 5.4 – Radar velocímetro	42
Figura 5.5 – Câmara fotográfica de alta velocidade	42
Figura 5.6 – Recetor de GPS	42
Figura 5.7 – Escola Prática de Artilharia.....	43
Figura 5.8 – Polígono de tiro	43
Figura 5.9 – Local de impacto	43
Figura 5.10 – Bolas de paintball	43
Figura 5.11 – Escape de gases à boca do obus	44
Figura 5.12 – Perda do sistema de extração de carga.....	44
Figura 5.13 – Local de impacto do projétil FZ.....	45
Figura 5.14 – Sistema de extração separado do resto do projétil.....	45
Figura 5.15 – Membrana fusível antese depois dos ensaios balísticos	45
Figura 5.16 – Dispersão dos locais de impacto dos ensaios balísticos e da granada HE	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Materiais selecionados para a versão anterior do projétil FIREND®	15
Tabela 3.1 – Propriedades do latão CuZn15 [11].	19
Tabela 3.2 – Propriedades do Latão CuZn40Pb2 [11]	20
Tabela 3.3 – Ensaio de Dureza Vickers	21
Tabela 3.4 – Características do Neoprene [14]	24
Tabela 3.5 – Características do Aço AISI H13 [11]	27
Tabela 5.1 – Registo das distâncias alcançadas pelos projéteis	46
Tabela 5.2 – Registo das V_0 e Dist. Reg. dos ensaios 1 e 5	47
Tabela 5.3 – Registo das V_0 e Distância Registada dos ensaios 1, 3 e 4	47

NOMENCLATURA

A	Área da secção; $[A] = \text{mm}^2$
A_{corte}	Área de resistência ao corte; $[A_{\text{corte}}] = \text{mm}^2$
A_{esm}	Área de resistência ao esmagamento; $[A_{\text{esm}}] = \text{mm}^2$
dif V_0	Diferença entre V_0 e a velocidade medida
Dist. Esp.	Distância esperada tendo em atenção a dif V_0
Dist. Reg.	Distância registada
d	diâmetro; $[d] = \text{mm}$
d_p	Diâmetro do punção; $[d_p] = \text{mm}$
d_n	Diâmetro nominal do punção; $[d_n] = \text{mm}$
E	Módulo de Young (elasticidade); $[E] = \text{GPa}$
EDS	Energie Dispersive X-ray detector
F	Força; $[F] = \text{N}$
g	Aceleração da gravidade; $[g] = \frac{m}{s^2}$
h	Altura; $[h] = \text{m}$
K	Coeficiente de elasticidade
kg	Quilograma
kgf	Quilograma força
l	comprimento; $[l] = \text{mm}$
l_f	Comprimento no estado de compressão; $[l_f] = \text{mm}$.
l_0	Comprimento no estado de distensão; $[l_0] = \text{mm}$
MPa	Mega Pascal
n	Coeficiente de segurança
n_d	Coeficiente de segurança global
n_s	Coeficiente de segurança para a incerteza das propriedades do material
n_L	Coeficiente de segurança para a carga
SPIF	Single Point Incrementation Forming
V_0	Velocidade inicial
3D	Três dimensões
ν	Coeficiente de Poisson
ρ	Densidade; $[\rho] = \text{kg/m}^3$
σ_{ced}	Tensão de cedência; $[\sigma_{\text{ced}}] = \text{MPa}$
σ_R	Tensão de rotura; $[\sigma_R] = \text{MPa}$.
τ	Tensão de corte; $[\tau] = \text{MPa}$
τ_{adm}	Tensão de corte admissível; $[\tau_{\text{adm}}] = \text{MPa}$
τ_{aplicada}	Tensão de corte aplicada; $[\tau_{\text{aplicada}}] = \text{MPa}$
τ_{crit}	Tensão de corte crítica; $[\tau_{\text{crit}}] = \text{MPa}$.
\emptyset	Diâmetro; $[\emptyset] = \text{mm}$

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTO GERAL

O nosso Planeta passa atualmente por um período de grandes alterações que despertam em nós preocupações relacionadas com a conservação do meio ambiente e dos recursos naturais. Neste âmbito, os incêndios florestais constituem um dos mais importantes flagelos para a floresta e para a sociedade.

Tendo em conta a previsão para a evolução das condições atmosféricas [1] nos próximos anos, em que se prevê um aumento da temperatura média no planeta, associado à desordenação das florestas no território nacional, é de esperar um agravamento no número de incêndios.

Assim, a par de todos os aspetos relativos à prevenção, e partindo do princípio que os fogos são inevitáveis, é imperativo o desenvolvimento de meios que aumentem a eficácia de combate ao fogo.

É por este motivo que este trabalho foca o desenvolvimento de um produto inovador, denominado pelo acrónimo: FIREND®, com principal aplicação no combate a incêndios florestais. A aplicação deste produto adquire ainda uma maior importância considerando que os incêndios florestais são um problema internacional, pelo que a possibilidade de desenvolver um produto nacional e a sua eventual comercialização poderá vir a ter um papel de extrema importância na sociedade Portuguesa e revelar-se uma oportunidade nos dias de hoje.

Este produto inovador tem como principal valência o combate ao incêndios florestais de grande dimensão, podendo ser utilizado como meio complementar aos meios aéreos e terrestres já existentes, uma alternativa em zonas de difícil acesso ou mesmo o único meio de combate nesse tipo de perfil de terreno, e ainda em condições de fraca visibilidade ou durante a noite, quando os meios aéreos não podem ser utilizados.

O potencial de aplicação do FIREND®, compreende-se melhor considerando as seguintes características:

- Pode ser utilizado sob quaisquer condições atmosféricas, independentemente do nível de luminosidade, o que representa um elevado grau de complementaridade com os meios aéreos;
- Pode facilmente ser aplicado em zonas montanhosas, que se revelem locais perigosos para intervenção dos meios aéreos e terrestres;
- Através do seu alcance e das suas trajetórias curvas é possível fazer o seu lançamento para zonas inacessíveis por via terrestre e/ou fora do alcance da vista;
- Pode ser utilizado ininterruptamente, não criando períodos de tempo que permitam reacendimentos;
- A possibilidade de regulação da sensibilidade (espessura) da membrana fusível, permite adaptar o sistema de detonação mecânica a solos de diferentes densidades, desde os mais arenosos aos mais rochosos;
- Pode ser utilizado para atacar o fogo pelo topo das chamas ou na zona de origem das mesmas, conforme a constante elástica e nível de compressão do sistema de mola de ejeção da carga;
- Pode ser um excelente auxílio para situações críticas, tais como, fogos florestais em aproximação a áreas urbanas, criando uma barreira à propagação do fogo;

- Devido à distribuição estratégica das unidades militares no território nacional, ao fácil transporte e operação dos obuses de artilharia que podem ser utilizados no lançamento deste produto, é expectável que o tempo de implementação destes meios no terreno seja reduzido, e assim, se obtenha vantagem significativa no combate contra os incêndios.

O conceito de aplicação e mecanismo de funcionamento deste produto é pioneiro. Não é conhecido outro processo de combate ao fogo que permita a sua ação de forma totalmente segura para o operador, sem limitações impostas pelas condições atmosféricas e/ou condições de acessibilidade à frente de fogo. Assim, pode-se considerar que se trata de um produto de carácter emergente em todos os domínios de aplicação da tecnologia, pois, trata-se de um produto cujos princípios fundamentais de funcionamento e aplicação estão patenteados em Portugal desde Março de 2005 [2] [3].

A patente é propriedade de duas instituições portuguesas de ensino, sem fins lucrativos, de grande reputação nas respetivas áreas de formação, o Instituto Superior Técnico e a Academia Militar, que suportam o desenvolvimento deste produto, desde a sua invenção. A tecnologia é atualmente desconhecida no estrangeiro, não sendo do domínio público sequer em Portugal, país onde se desenvolve o fabrico de protótipos e respetiva avaliação da eficiência de funcionamento.

Este produto tem a forma exterior de um projétil de artilharia mas com um funcionamento totalmente inerte, isto é, o processo de detonação e ejeção da carga do interior do FIREND® baseia-se num mecanismo exclusivamente mecânico. O mecanismo de detonação e ejeção da carga baseia-se num sistema de membrana fusível que ao romper, no momento da detonação, desencadeia uma reação que vai libertar a energia elástica acumulada no interior do FIREND®. Atualmente, o processo de detonação mecânica do FIREND® está apenas preparado para ser acionado por percussão, mas pode evoluir para ser acionado por aproximação ao solo através de uma espoleta de tempos ou eletrónica [2] [3].

Tendo em conta que este projétil tem por base um processo de detonação não explosivo permite antever a possibilidade de reutilização do corpo do FIREND®, assim como parte do seu mecanismo de funcionamento. Para além disso, todos os componentes que não forem reutilizáveis serão recicláveis. Trata-se portanto de um produto com um reduzido impacto ambiental e que se enquadra numa estrutura de desenvolvimento sustentado. O carácter não explosivo do FIREND® possibilita, igualmente, a sua aplicação em domínio civil, sem risco para os seres humanos.

O FIREND® servirá como veículo de transporte de uma carga genérica, com aplicabilidade no meio civil ou no meio militar, quer em tempo de guerra quer em tempo de paz. Na sua aplicação mais relevante e de maior potencial, o combate a incêndios, a carga será constituída por uma substância que tem como objetivo a extinção do fogo ou a diminuição da sua capacidade de propagação, como por exemplo: gel retardante, gelo seco, fosfatos, etc.

Na atual fase de desenvolvimento, a conceção do FIREND® baseia-se na geometria exterior de projéteis de calibre 105mm, que correspondem aos calibres normalizados NATO para as munições de artilharia [4]. O FIREND® está preparado para ser encartuchado da mesma forma que as granadas disparadas pelos obuses existentes ao serviço do Exército.

O conceito de funcionamento e aplicação deste projétil no combate a incêndios florestais está patentado, sob o número PT 103246 com a data de prioridade de 16 de Março de 2005 tendo sido

publicado no Boletim da Propriedade Industrial nº 7 (Julho) de 2005. Autores: Pedro Vilaça, Pedro Marquês de Sousa; Instituições proponentes: Instituto Superior Técnico e Academia Militar [5].

1.2. OBJECTIVOS

Este trabalho é mais uma fase de desenvolvimento do projeto FIREND[®] que teve início em 2005. Ao longo do período que decorreu desde 2005 até à atualidade houve a evolução do conceito, tendo sido efetuados ensaios experimentais de lançamento de uma torre com cerca de 30 metros, análises numéricas, analíticas aos diversos materiais e subsistemas constituintes e estudos de viabilidade financeira para a criação de uma empresa para produção e venda do produto [2] [3] [6].

O presente trabalho pretende ser um passo determinante na concretização deste projeto, e que tem os seguintes objetivos:

- Verificação de aspetos chave no projeto mecânico e aerodinâmico;
- Seleção e aquisição de materiais;
- Fabrico de protótipos para ensaios balísticos em condições reais de lançamento por obus;
- Ensaio de funcionalidade e eficiência em condições reais de lançamento por obus sendo analisados os aspetos de montagem, toleranciamento geométrico do projétil relativamente ao cano do obus, estabilidade do projétil durante o voo, impacto no solo, detonação, projeção da carga para o exterior e análise de recuperação dos componentes do FIREND[®].

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho apresenta as seguintes etapas de desenvolvimento:

- Introdução – Introdução à temática do projeto de desenvolvimento, apresentação dos objetivos para a atual fase de desenvolvimento;
- Estado da Arte – análise da problemática relacionada com os incêndios florestais e respetivas técnicas, descrição da evolução histórica do conceito desenvolvido neste trabalho e análise dos aspetos técnicos dos subsistemas que compõem a versão anterior do projétil FIREND[®];
- Fabrico do Projétil FIREND[®] – caracterização do processo de fabrico dos diversos componentes, descrição da sequência de montagem e apresentação do conjunto de ferramentas desenvolvidas para auxiliar a montagem do projétil FIREND[®];
- Ensaio de Funcionalidade – apresentação dos objetivos para os ensaios em condições reais do projétil FIREND[®], descrição do procedimento e das condições em que foram realizados os ensaios de funcionalidade e apresentação dos resultados dos mesmos;
- Conclusões – análise, apresentação e discussão de resultados do projeto;
- Trabalhos Futuros – apresentação de propostas relativas a trabalhos futuros de continuidade deste projeto de desenvolvimento.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. INTRODUÇÃO DO PROJÉTIL FIREND® NO COMBATE AOS INCÊNDIOS FLORESTAIS

O fogo é uma reação química designada por combustão, acompanhada pela libertação de calor. Para que esta reação química ocorra são necessários três elementos:

- **Combustível:** substância que reage no seio de um gás;
- **Comburente:** corpo gasoso ou atmosfera que envolve o combustível e que com ele reage na combustão;
- **Energia de Ativação:** fonte de energia necessária para iniciar o processo.

No entanto, a ação conjunta destes três elementos pode não ser suficiente para manter a combustão.

Para garantir a combustão contínua é necessário a introdução de um quarto elemento – a **Reação em Cadeia**.

Para extinguir a combustão é necessário a eliminação (ou minimização) de, pelo menos, um dos elementos anteriormente referidos. Contudo, na extinção de um incêndio, muitas vezes tenta eliminar-se mais de que um destes elementos com o objetivo de se extinguir a combustão o mais rapidamente possível.

Assim, existem quatro métodos teóricos de extinção: carência, limitação do comburente, arrefecimento e inibição.

No combate a um incêndio florestal, há duas ações decisivas para evitar o seu desenvolvimento:

- Impedir a progressão livre da frente do incêndio;
- Atacar os flancos para reduzir a cabeça do incêndio.

O conceito básico é: quanto mais pequeno é o foco de incêndio mais hipóteses há de o circunscrever e extinguir. Por exemplo, uma fogueira apaga-se com um balde de água.

Num incêndio nascente, ou num de pequenas proporções, deve tentar quebrar-se o ritmo de progressão atuando diretamente sobre a sua frente. Quando tal não for possível, deve progredir-se pelos flancos diminuindo a cabeça até à extinção completa da frente de chamas.

Os métodos de combate a incêndios florestais são três: direto, indireto e combinado.

O **método direto** consiste no ataque direto às chamas, recorrendo à tática ofensiva, sempre que possível, na cabeça do incêndio, de modo a cortar, de imediato, o seu desenvolvimento. Se tal não for seguro e possível, o ataque inicia-se pelos flancos, na direção da frente principal, de modo a empurrar as chamas para onde for mais favorável, visando dominar e extinguir a frente do incêndio.



Figura 2.1 – Método direto de combate a incêndios florestais

O **método indireto** destina-se a travar a propagação das chamas, quando o ataque direto não é possível, tentando circunscrever o incêndio a uma determinada área. Esta poderá ser delimitada por faixas de contenção, isto é, por zonas previamente tratadas para retardar a propagação ou, mesmo, extinguir as chamas.



Figura 2.2 – Método indireto de combate a incêndios florestais

Essas faixas de contenção poderão ser:

- Previamente existentes: estradas, caminhos florestais, áreas tampão, aceiros, arrifes, cortinas de abrigo e faixas corta-fogo;
- Construídas na altura do incêndio, limpando o terreno dos combustíveis até ao rególito.

Em qualquer dos casos, essas faixas podem ser alargadas e consolidadas, através do tratamento da vegetação, que lhes é adjacente, com água, espumíferos ou caldas retardantes.

O **método combinado** consiste na aplicação simultânea dos dois métodos referidos (direto e indireto), na mesma frente de chamas.

Normalmente, utilizam-se máquinas de arrasto para a abertura da faixa de contenção (indireto), ao mesmo tempo que se posicionam nessa faixa veículos de combate que procedem ao ataque direto.

Num incêndio de pequenas proporções e nos flancos ou na cauda de um grande incêndio, utiliza-se o combate direto.

Para deter o avanço de um incêndio de grandes proporções, em particular de uma frente principal, emprega-se o combate indireto.

Num mesmo incêndio podem ser utilizados os dois métodos de combate (direto e indireto) em simultâneo. A sua utilização depende das condições de progressão e da disponibilidade de recursos.



Figura 2.3 – Método combinado de combate a incêndios florestais

Partindo dos métodos de combate aos incêndios descritos, a introdução do FIREND® no método indireto ou combinado trás vantagens significativas para o combate aos incêndios e vem colmatar as limitações associadas aos meios aéreos e terrestres, e ainda à morfologia do terreno.

Se se considerar a utilização do FIREND® por parte de uma Bateria de Artilharia de Campanha, constituída por seis bocas de fogos (6 obuses, calibre 105mm [7]), no combate a um incêndio florestal e se se considerar um diâmetro de dispersão do produto contido no FIREND® de 20 metros, é possível

bater uma frente com uma largura de 120 metros. Isto se apenas se considerar um único disparo por parte de cada obus.

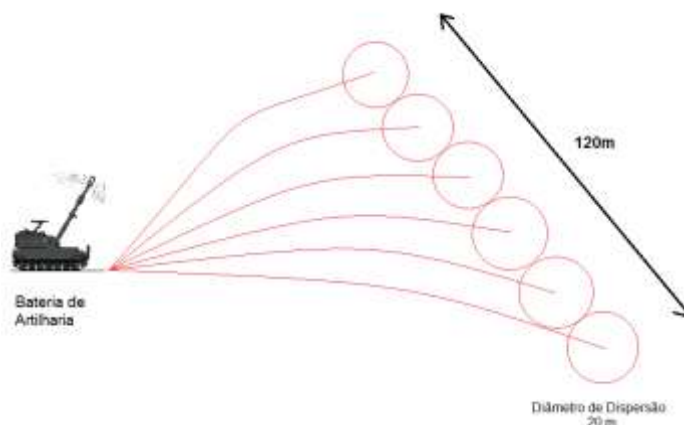


Figura 2.4 – Frente batida por uma Bateria de Artilharia de Campanha

2.2. EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO CONCEITO

A ideia de utilizar uma granada de artilharia de detonação mecânica para combate aos incêndios florestais surgiu em 2005. A sua geometria tinha por base a de uma granada de fumos de artilharia [8]. No entanto, o conceito de detonação química foi substituído por um conceito de detonação mecânica baseada no processo de corte por arrombamento.

O fato de existir um elevado grau de confidencialidade em volta de tudo o que está relacionado com material bélico, dificultou todo o processo de desenvolvimento do produto, tendo-se optado pelo recurso a um processo de engenharia inversa. Nesse processo de engenharia inversa, colaborou o Laboratório de Explosivos da Marinha, bem como à utilização do software de SCAN 3D, Rhinocer. A digitalização permitiu reproduzir a forma da espoleta, ogiva e corpo da munição [6].



Figura 2.5 – Processo de engenharia inversa

Com base na informação retirada do processo de engenharia inversa, dividiu-se o projétil em subsistemas. Para o dimensionamento dos diversos componentes recorreu-se ao cálculo analítico e à análise computacional. Foram ainda selecionados os diferentes materiais que compunham cada componente do projétil [6], tendo por base o seu funcionamento e os esforços a que o componente está sujeito, nomeadamente altas temperaturas. O preço dos materiais também foi um aspeto tido em conta na sua seleção, uma vez que por se tratar de um protótipo, o critério de seleção dos materiais estaria isento de maior rigor necessário em fases de desenvolvimento mais avançadas.

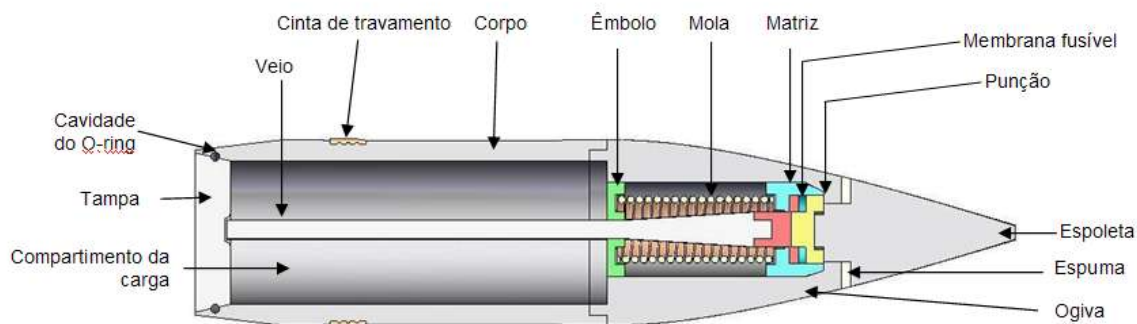


Figura 2.6 – Conceito original

A munição foi dividida nos seguintes subsistemas (Figura 2.7 a Figura 2.12):

- Subsistema de Ejeção da Carga;
- Subsistema Tampa do Compartimento de Carga;
- Subsistema Cinta de Travamento;
- Subsistema Espoleta;
- Subsistema Fusível (Membrana Fusível);
- Subsistema Compartimento de Carga.

Posteriormente, o projétil foi submetido a profundas alterações geométricas (Figura 2.13), onde foram alterados vários subsistemas, tendo permanecido inalteráveis o calibre de 105 mm e a altura do projétil.

As principais alterações verificaram-se na espoleta, cuja forma ogival passou para uma forma semiesférica, de maneira a permitir transmitir com maior eficiência, ao sistema de corte, a energia necessária para a sua atuação no instante do impacto do projétil no solo. Com esta geometria semiesférica da espoleta aumentou-se a gama de ângulos de impacto no solo que permitem o acionamento do mecanismo de detonação mecânica. O espaço de carga disponível no projétil foi aumentado, com a deslocação do sistema de ejeção [3].

No terceiro ano do projeto, verificaram-se alterações a nível interior dos subsistemas, como foi o caso do veio, da mola e da membrana fusível (Figura 2.13). Realizaram-se ensaios de campo para testar o funcionamento da membrana fusível incorporada na munição. A estabilidade de voo e trajetórias foram, também, testadas usando o software com método numérico baseado em volumes finitos, neste caso o STAR-CD V3.26 [2].

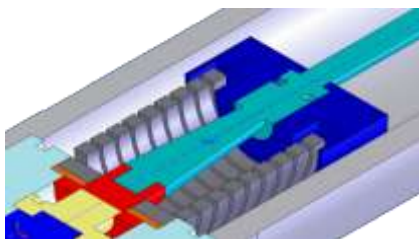


Figura 2.7 – Subsistema de ejeção de carga

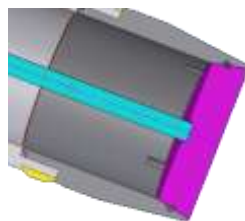


Figura 2.8 – Subsistema tampa do compartimento de carga

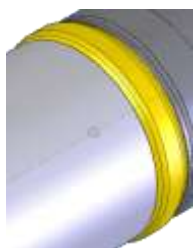


Figura 2.9 – Subsistema cinta de travamento

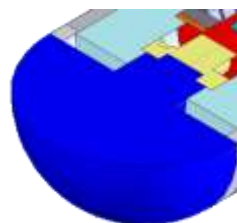


Figura 2.10 – Subsistema espoleta

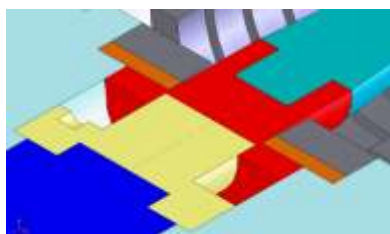


Figura 2.11 – Subsistema fusível (membrana fusível)

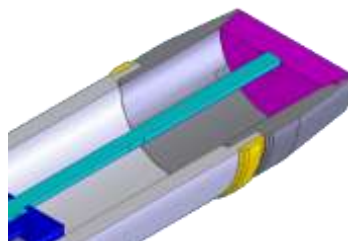


Figura 2.12 – Subsistema compartimento de carga

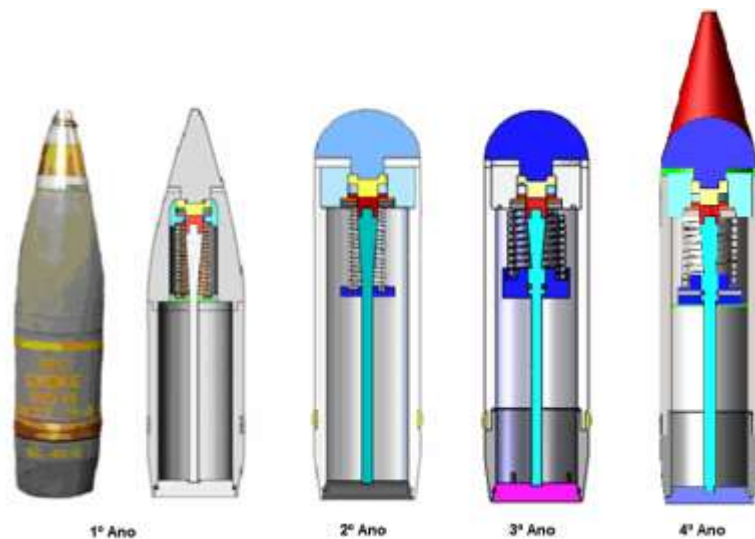


Figura 2.13 – Evolução histórica do conceito

2.3. ASPECTOS TÉCNICOS DA ÚLTIMA VERSÃO DO PROJÉTIL

A versão do projétil FIREND, que inclui todos os desenvolvimentos introduzidos até à realização deste trabalho, encontra-se dividida nos seguintes subsistemas [2]:

- Subsistema Corpo do Projétil;
- Subsistema Cinta de Travamento;
- Subsistema Espoleta;
- Subsistema Membrana Fusível;
- Subsistema Ejeção da Carga;

- Subsistema Tampa do Compartimento de Carga;
- Subsistema Compartimento de Carga.

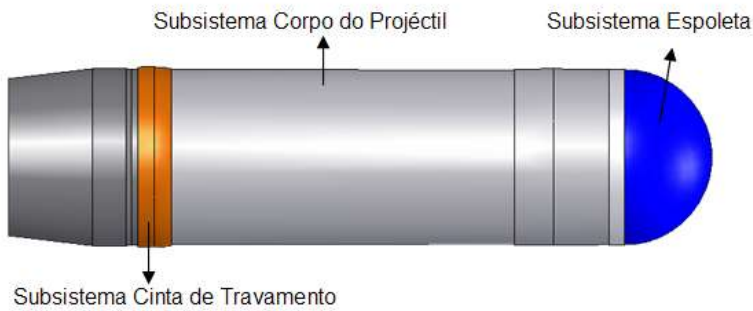


Figura 2.14 – Vista exterior do projétil

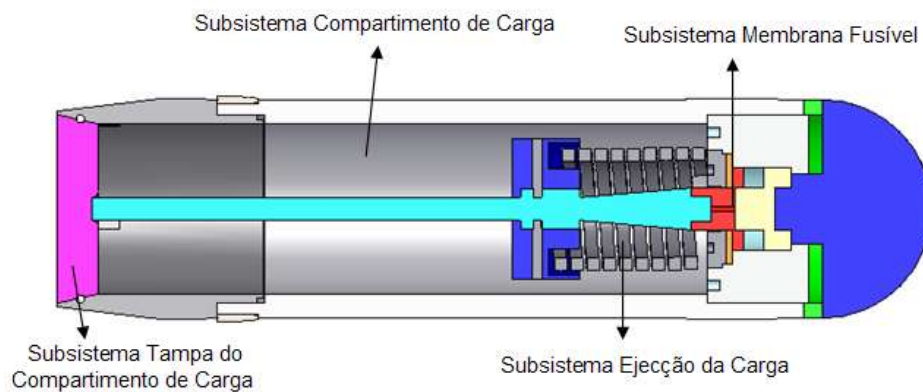


Figura 2.15 – Vista interior do projétil

2.3.1. COMPOSIÇÃO DOS SUBSISTEMAS DA VERSÃO ANTERIOR

Subsistema Corpo do Projétil:

Este subsistema serve de suporte aos restantes subsistemas, protege os mecanismos de acionamento e de extração do produto químico do projétil e confere ainda um comportamento aerodinâmico ao mesmo durante a trajetória. É composto pelos seguintes componentes:

- Corpo Principal (Figura 2.16a);
- Corpo de Acoplamento (Figura 2.16b).



Figura 2.16 – Corpos do projétil

Subsistema Cinta de Travamento

É uma peça essencial no funcionamento do projétil, uma vez que fixa o projétil no cone de forçamento da arma e centra a sua parte inferior na alma do tubo.

Quando é atingida a pressão máxima no fundo do projétil, devido à deflagração da pólvora propulsora, este inicia o seu movimento preenchendo as estrias através da deformação da cinta de travamento, provocando a completa obturação do sistema e evitando a saída de gases propulsores para a frente do projétil [9].

Este subsistema é composto apenas pelo componente que lhe dá o nome.



Figura 2.17 – Cinta de travamento

Subsistema Espoleta

Este subsistema é responsável pelo acionamento do mecanismo de detonação mecânica imediatamente após o impacto com o solo.

É composto pelos seguintes componentes:

- Espoleta (Figura 2.18a);
- Chassis de Suporte (Figura 2.18b);
- Anel de Esmagamento (Figura 2.18c);
- Punção (Figura 2.18d);
- Corpo principal do projétil (Figura 2.18e).

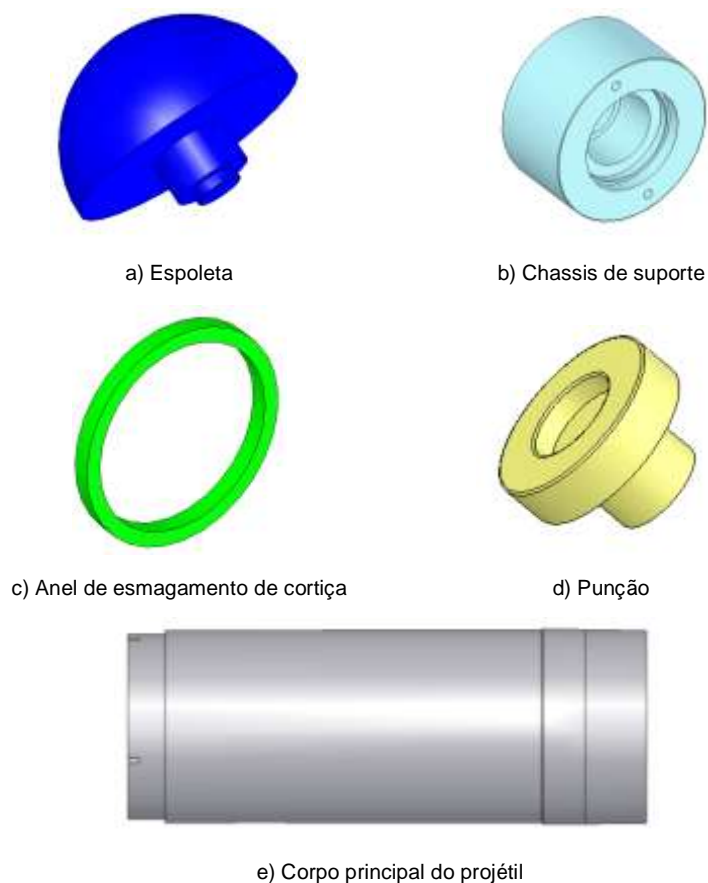


Figura 2.18 – Peças constituintes do subsistema espoleta

O subsistema montado encontra-se na Figura 2.19.

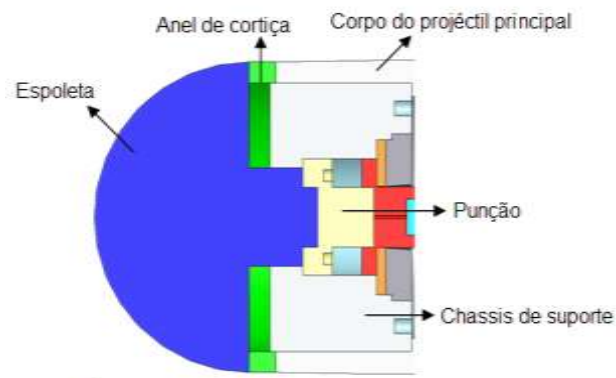


Figura 2.19 – Subsistema espoleta montado

Subsistema Membrana Fusível

Este subsistema materializa o conceito de detonação mecânica, tornando-se desta forma no subsistema mais importante. É composto pelos seguintes componentes:

- Punção (Figura 2.20a);
- Membrana fusível (Figura 2.20b);
- Matriz (Figura 2.20c);
- Suporte da Matriz (Figura 2.20d).

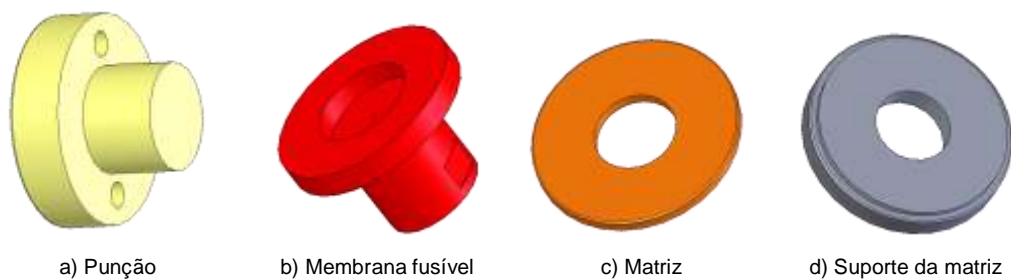


Figura 2.20 – Componentes do subsistema membrana fusível

Na Figura 2.21 apresenta-se o subsistema montado.

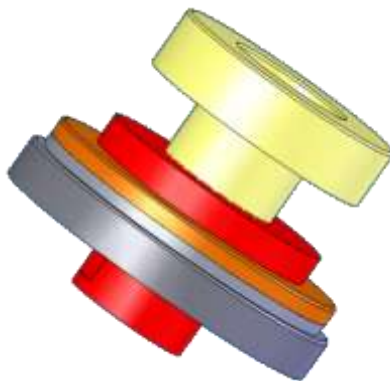


Figura 2.21 – Subsistema membrana fusível montado

Subsistema Ejeção da Carga

Este subsistema é responsável pela ejeção da carga contida no projétil de tal forma que possibilite uma adequada dispersão da mesma. É composto pelos seguintes componentes:

- Êmbolo (Figura 2.22a);
- Mola (Figura 2.22b);
- Veio (Figura 2.22c).

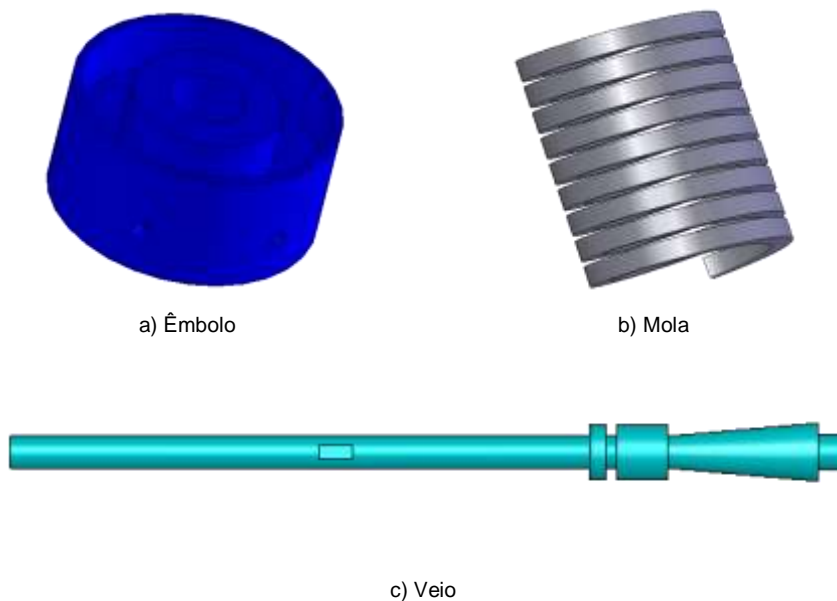


Figura 2.22 – Componentes do subsistema ejeção da carga

A Figura 2.23 mostra os componentes deste subsistema montados.

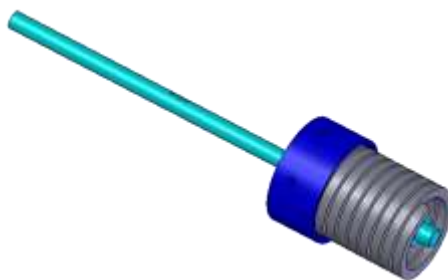


Figura 2.23 – Componentes do subsistema montados

Subsistema Tampa do Compartimento de Carga

Este subsistema suporta toda a pressão e temperatura desenvolvida no interior do obus, fruto da deflagração da carga propulsora. É ainda responsável pela integridade da carga durante a fase de lançamento e por facilitar a saída da carga, no momento da extração. Este subsistema é composto pelos seguintes componentes:

- Tampa (Figura 2.24a);
- Corpo de Acoplamento do projétil (Figura 2.16b);
- O-ring (Figura 2.24b).



a) Tampa



b) O-ring

Figura 2.24 – Peças constituintes do subsistema

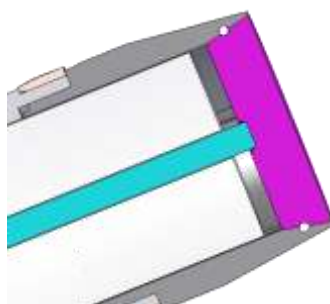


Figura 2.25 – Subsistema montado

Subsistema Compartimento de Carga

Este subsistema possuía, na última versão do projétil FIREND® [2], para um calibre de 105 mm, um volume aproximado de 1 litro (1dm³). É composto pelos seguintes componentes:

- Corpo principal e corpo de acoplamento do projétil (Figura 2.16);
- Veio (Figura 2.22c);
- Tampa (Figura 2.24a);
- Êmbolo (Figura 2.22a);
- Saco (Figura 2.26).



Figura 2.26 – Saco

2.3.2. MATERIAIS SELECIONADOS PARA OS COMPONENTES DA VERSÃO ANTERIOR

Na Tabela 2.1 é apresentada a seleção de materiais para todos os componentes da versão anterior do projétil FIREND® [2].

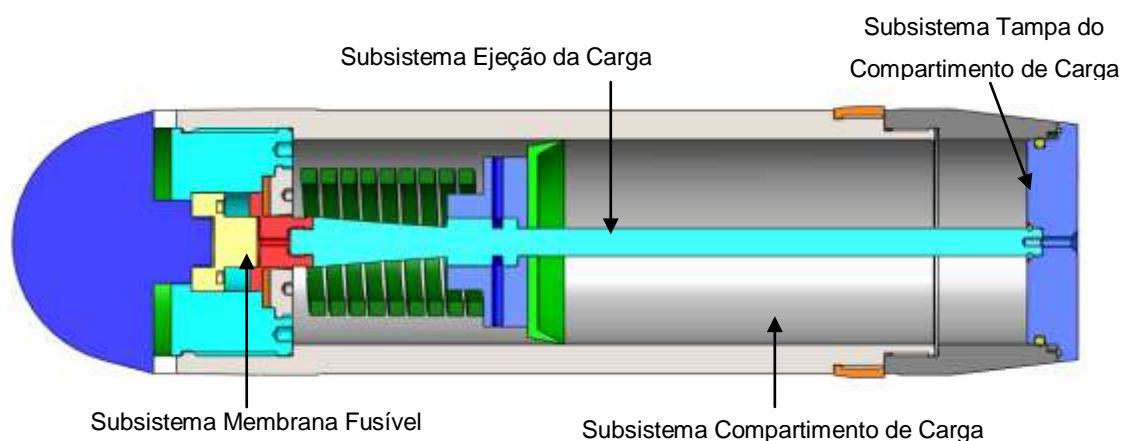
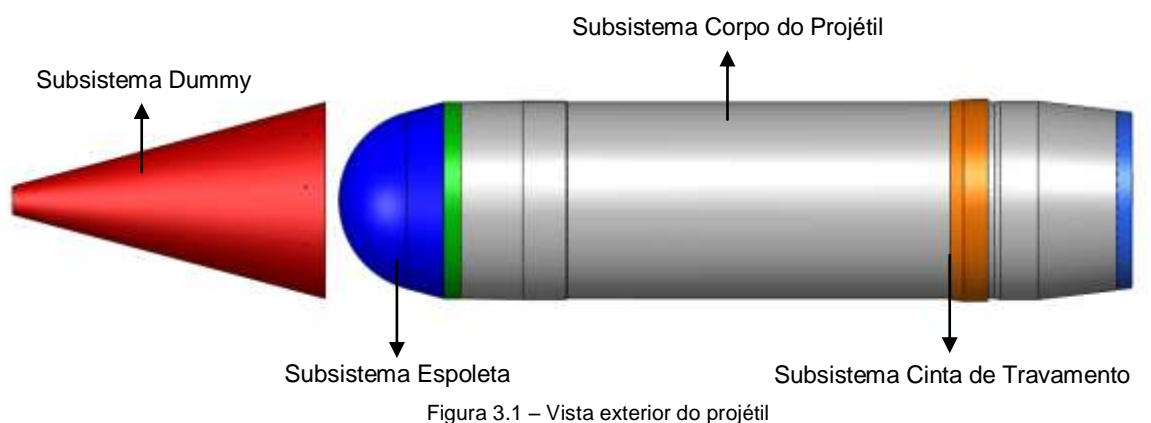
Componente	Material Selecionado
Espoleta	Aço AISI 1045
Anel de Esmagamento	Aglomerado de Cortiça
Chassis de Suporte	Aço AISI 1045
Corpo Principal	Tubo mecânico sem costura DIN 20Mnv6
Corpo de Acoplamento	Tubo mecânico sem costura DIN 20Mnv6
Punção	Aço AISI D3
Matriz	Aço AISI D3
Membrana Fusível	Aço AISI 1045
Suporte da Matriz	Aço AISI 1045
Veio	Aço AISI 1045
Êmbolo	Aço AISI 1045
Cinta de Travamento	Bronze CB3
Tampa	Aço AISI 1045

Tabela 2.1 – Materiais selecionados para a versão anterior do projétil FIREND®

3. ANÁLISE TÉCNICA DO NOVO CONCEITO

Neste capítulo, apresentam-se os subsistemas e respetivos componentes que compõem o atual conceito do projétil FIREND® e as principais alterações relativamente ao anterior conceito.

3.1. SUBSISTEMAS CONSTITUINTES DO PROJÉTIL



3.2. SUBSISTEMA CORPO DO PROJÉTIL

Este subsistema é composto por dois componentes, corpo principal e corpo de acoplamento (Figura 3.3). Esta composição permite uma rápida, fácil e eficiente montagem da cinta de travamento.



a) Corpo Principal



b) Corpo de Acoplamento

Figura 3.3 – Corpo do projétil atual

O material escolhido para o Corpo Principal e para o Corpo de Acoplamento não foi alterado relativamente à última versão do projétil FIREND® [2].

Tendo em conta a colocação da cinta de travamento, manteve-se, como na conceção anterior, o corpo do projétil dividido em dois corpos, principal e de acoplamento (Figura 3.3). O corpo principal corresponde à parte da frente, onde será inserida a espoleta, e o corpo de acoplamento corresponde à parte de trás onde será inserida a tampa.

O corpo principal tem três roscas, uma interior e duas exteriores (Figura 3.4).

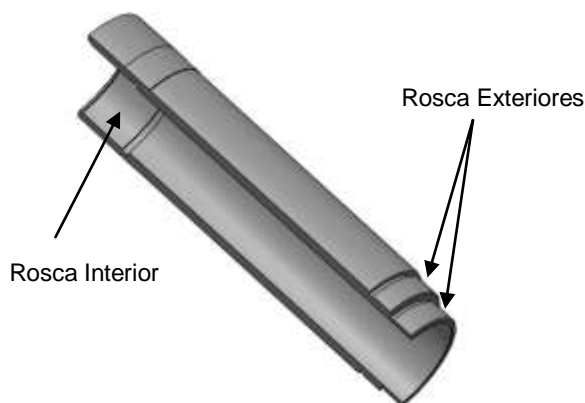


Figura 3.4 – Roscas do corpo principal

A rosca interior permite a ligação com o chassis de suporte e, relativamente à versão anterior, foi aumentado o passo da rosca por forma a agilizar a fixação deste componente.

A rosca exterior de maior diâmetro destina-se à fixação da cinta de travamento. Esta rosca é direita devido ao sentido de rotação *dextrosum* do projétil. Desta forma, a tendência da cinta de travamento, quando solicitada pelo contacto das estrias existentes no interior do tubo do obus, prender-se-á mais ao corpo do projétil. Ao contrário da versão anterior, esta rosca não possui qualquer escatel (Figura 3.5). A fixação da cinta de travamento é garantida através de uma regina epóxi, com a designação comercial Loctite [10].

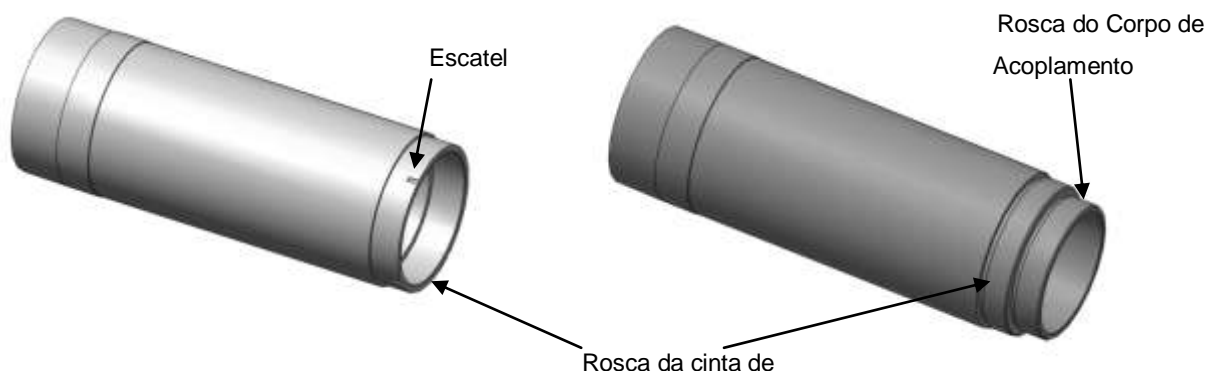


Figura 3.5 – Corpo principal anterior e atual

A rosca exterior de menor diâmetro destina-se a fazer a ligação entre o corpo principal e o corpo de acoplamento. Na versão anterior esta rosca era interna. No entanto, verificou-se que devido aos requisitos de fabrico das duas roscas, a espessura da parede do corpo principal, nesta zona, seria significativamente reduzida (Figura 3.6). Para além disso, tendo em conta, a torção originada nesta zona pela cinta de travamento, poderia dar-se uma fratura. Para solucionar este problema, deslocou-se esta

rosca. Esta alteração conseguiu-se à custa de um aumento de comprimento do corpo principal e de uma redução de comprimento do corpo de acoplamento (Figura 3.5).

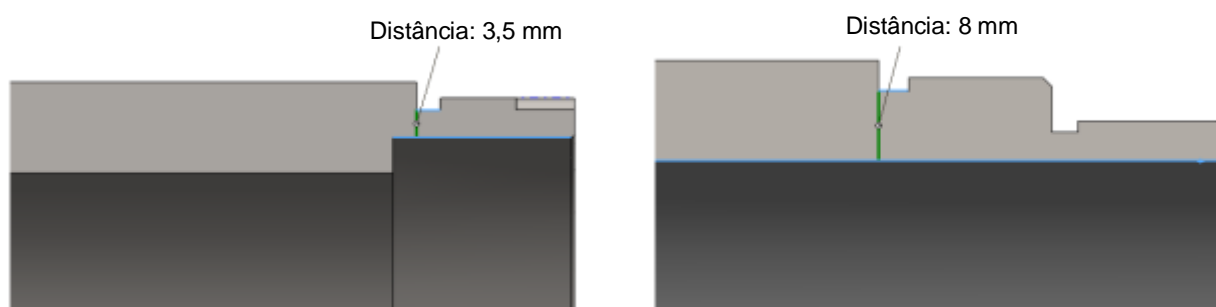


Figura 3.6 – Detalhe da espessura do corpo principal na versão anterior e atual

3.3. SUBSISTEMA CINTA DE TRAVAMENTO

A cinta de travamento tem duas funções, faz o guiamento do projétil através das estrias do tubo do obus, conferindo rotação ao projétil e faz a obturação posterior da munição durante o tiro, impedindo a passagem de gases para a frente da munição e por conseguinte, a diminuição da velocidade inicial da munição á boca do cano do obus e a consequente perda de alcance [4] [9].



Figura 3.7 – Cinta de travamento

Na versão anterior do projétil FIREND® [2], o material utilizado para cinta de travamento foi o Bronze, DIN 1705CuSn12, com a designação técnica CB3. No entanto, se analisarmos corretamente a análise microscópica da composição química a que a cinta de travamento foi sujeita, verificamos que o segundo elemento químico mais representado é o zinco (Zn). Isto significa que a cinta de travamento tem origem numa liga metálica de latão e não em bronze.

Posteriormente a esta reanálise da composição química da cinta de travamento foi confirmado, efetivamente, que a cinta de travamento tem origem numa liga de latão.

A par das análises microscópicas realizadas, foram também realizados ensaios de dureza Vickers, ao material da cinta de travamento.

Com base em todas as análises realizadas o material escolhido para a cinta de travamento foi o Latão, DIN CuZn15, com as propriedades presentes na Tabela 3.1.

Material	ρ [kg/m ³]	Dureza [HV]	σ_R [MPa]	σ_{ced} [MPa]	ϵ [%]	E [GPa]	ν
CuZn15	8750	120	460	392	8	115	0.307

Tabela 3.1 – Propriedades do latão CuZn15 [11].

No entanto, após pesquisa no mercado nacional, constatou-se que não seria possível adquirir este material dentro do prazo pretendido, tendo-se optado por uma liga de latão cujas características fossem o mais próximo possível das características do latão escolhido previamente, dando ênfase à Dureza Vickers e ainda à composição química.

O material escolhido para a cinta de travamento foi o latão, DIN CuZn40Pb2, com as propriedades presentes na Tabela 3.2.

Material	ρ [kg/m ³]	Dureza [HV]	σ_R [MPa]	σ_{ced} [MPa]	ϵ [%]	E [GPa]	ν
CuZn40Pb2	8430	120	485	335	22.5	96	0.307

Tabela 3.2 – Propriedades do Latão CuZn40Pb2 [11]

Tendo em vista a confirmação das propriedades tabeladas do Latão (adquirido para produzir as cintas de travamento do FIREND®), e ainda da cinta de travamento original, foram realizados ensaios de dureza (ver valores obtidos no Anexo 3).

Na Figura 3.8 apresenta-se as duas leituras realizadas para cada um dos materiais ensaiados, cada uma com cinco indentações, numa matriz em cruz (Figura 3.8) com cargas de 1kgf e 2kgf, durante 15 segundos.

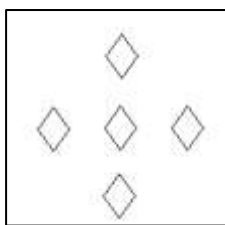


Figura 3.8 – Esquema da matriz das indentações em cruz

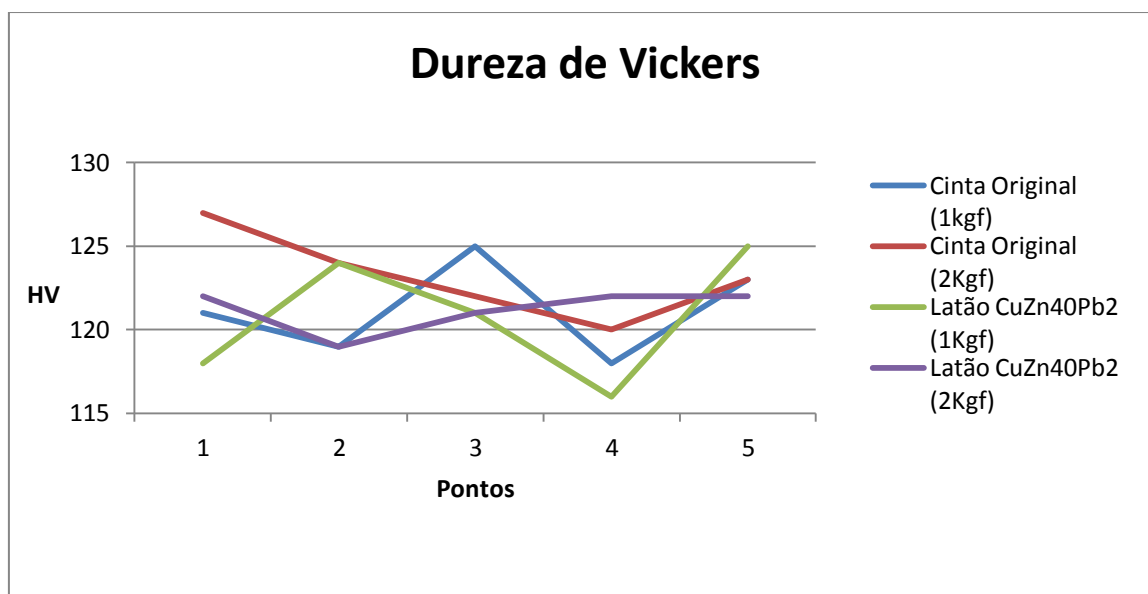


Figura 3.9 – Ensaios de dureza Vickers

Leituras	Dureza Média [HV]	Desvio Padrão
Cinta Original (1kgf)	121,2	2,86
Cinta Original (2kgf)	123,2	2,59
Latão CuZn40Pb2 (1kgf)	120,8	3,83
Latão CuZn40Pb2 (2kgf)	121,2	1,30

Tabela 3.3 – Ensaaios de Dureza Vickers

Como é possível observar na Tabela 3.3, a diferença entre o valor tabelado para o Latão CuZn40Pb2 e o valor real (120HV tabelado versus 121HV), e ainda entre o valor real e o valor da cinta de travamento original, é muito pouco significativo, pelo que a escolha deste material foi considerada correta.

Não tendo a geometria da cinta de travamento sido alterada significativamente quando comparada com a versão anterior, o sistema de encastramento manteve-se então o mesmo [2].

No entanto, a parte da frente da zona exterior foi alterada. A geometria cônica curvilínea foi alterada para uma geometria cônica reta (Figura 3.10), de forma a facilitar o preenchimento os espaços vazios entre o estriado do tubo efetuando a obturação corretamente. Esta alteração foi decidida após observação cuidada de uma cinta de travamento numa granada de artilharia HE [12].

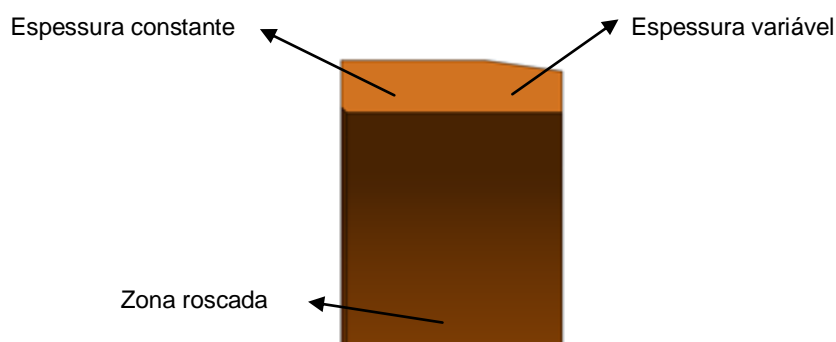


Figura 3.10 – Corte transversal da cinta de travamento atual

Ao contrário da cinta de travamento anterior, a versão atual possui rosca em toda a sua largura. A zona não roscada, necessária para garantir que a cinta de travamento é apertada até a parte da frente desta, de forma a encostar convenientemente no corpo principal, foi retirada e substituída por uma caixa no final da rosca correspondente no corpo principal (Figura 3.11). Esta alteração foi efetuada para simplificar o processo de fabrico e a própria montagem posterior.

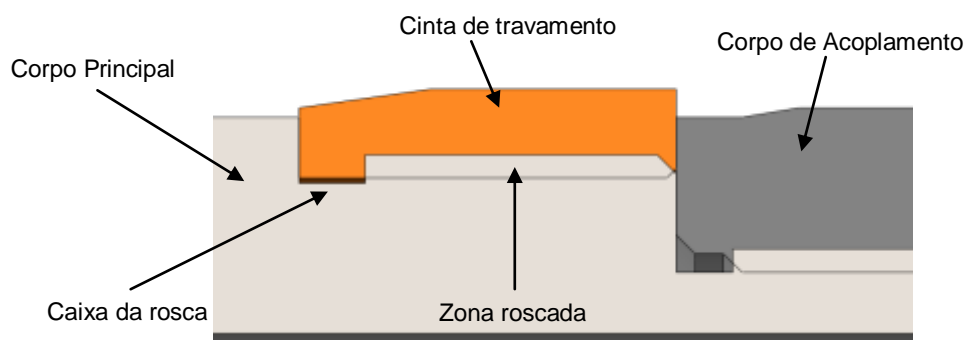


Figura 3.11 – Pormenor da zona roscada da cinta de travamento

Ainda relativamente ao sistema de encastramento, é possível verificar na Figura 3.12 que a cinta de travamento já não possui qualquer canal para inserção de escatéis. Este reforço do sistema de

encastramento foi substituído, tal como foi referido no capítulo 3.2, por uma resina epóxi que apresenta um comportamento mecânico idêntico aos escatéis, nomeadamente devido à sua resistência ao torque e à temperatura de operação, mas que torna mais eficiente o processo de fabrico, montagem do projétil e posterior reutilização uma vez que, se submeter este componente a 250° C consegue-se remover a cinta de travamento mesmo após a utilização do projétil [13].



Figura 3.12 - Corpo principal do projétil e cinta de travamento

3.4. SUBSISTEMA ESPOLETA

Este subsistema tem como função o acionamento do mecanismo de detonação mecânica do projétil, no momento do impacto. Este subsistema é constituído pelos seguintes componentes:

- Espoleta (Figura 3.13a);
- Chassis de suporte (Figura 3.13b);
- Anel de esmagamento (Figura 3.13c);
- Punção (Figura 3.13d);
- Corpo principal do projétil (Figura 3.13e).



a)espoleta



b) Chassis de suporte



c) Anel de esmagamento



d) Punção



e) Corpo principal do projétil

Figura 3.13 – Componentes do atual subsistema espoleta

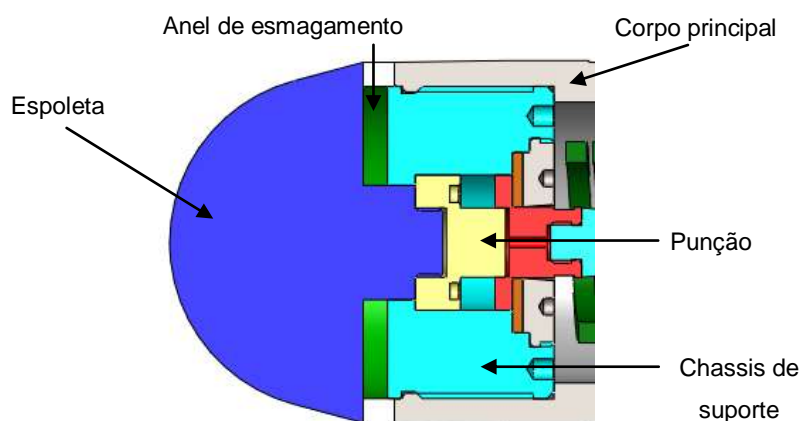


Figura 3.14 – Subsistema espoleta montado

Os materiais escolhidos para a espoleta, chassis de suporte, punção e corpo principal não foram alterados relativamente à última versão do projétil FIREND®. As razões que justificaram a escolha mantêm-se [2].

Por forma a conferir uma dureza superior ao punção, este componente foi sujeito a um tratamento térmico de indução de 60 Hrc.

O material escolhido para o anel de esmagamento foi alterado. Em detrimento do aglomerado de cortiça [2], foi escolhido o elastômero sintético, Policloropreno (CR), conhecido pelo nome genérico Neoprene®. Esta opção foi feita tendo em conta a resiliência e a boa resistência ao calor deste elastômero.

Material	ρ [kg/m ³]	Coeficiente de condutividade térmica [w/(m.K)]	ϵ [%]	σ_{ced} [MPa]
Policloropreno	1250	0,18 a 0,195	100 a 400	15 a 25

Tabela 3.4 – Características do Neoprene [14]

A geometria atual do subsistema espoleta é diferente da última versão do projétil. Inicialmente, a espoleta possuía uma forma semiesférica completa (Figura 3.15). Esta forma permite, entre outros aspetos, aumentar a eficiência da transformação da energia de impacto em energia disponível para aplicar no corte da membrana fusível [2].

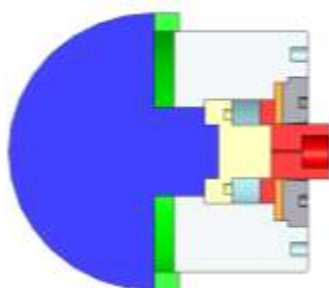


Figura 3.15 – Substema espoleta na versão anterior [2]

Na versão atual, a espoleta possui uma zona cônica com uma espessura de 20 mm e com uma inclinação de 25° com a horizontal. Mais à frente, possui uma zona semiesférica (Figura 3.16).

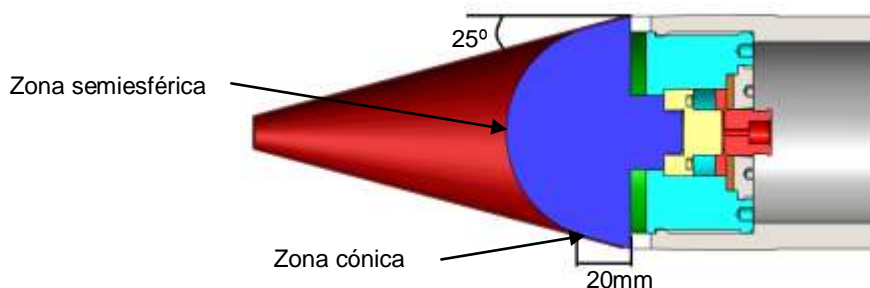


Figura 3.16 – Substema espoleta na versão atual

Esta alteração de geometria permite manter todas as vantagens da geometria anterior, uma vez que mantêm quase na sua totalidade a forma semiesférica, e ainda permite acoplar um novo componente, ao qual se atribuiu a designação de Dummy (Figura 3.1). A descrição e explicação do funcionamento deste novo subsistema serão feitas no capítulo 3.8.

Além da alteração da geometria da espoleta foram ainda revistas todas as roscas dos diferentes componentes, nomeadamente os respetivos passos. De forma a agilizar a montagem e a desmontagem deste subsistema, foi aumentado o passo da rosca exterior do chassis de suporte, bem como o da rosca correspondente ao corpo principal do projétil. Este passo foi alterado de 2mm para 2,5mm.

À parte destas alterações, este subsistema mantém a mesma geometria relativamente à versão anterior do projétil FIREND® [2].

3.5. SUBSISTEMA MEMBRANA FUSÍVEL

Tal como já foi referido anteriormente, o subsistema membrana fusível é o coração deste projeto. É este subsistema que materializa o conceito de detonação mecânica e é nele que ocorre o processo de corte por arrombamento. Este subsistema não teve qualquer alteração face à versão anterior [2], e é constituído pelos seguintes componentes:

- Punção (Figura 3.17a);
- Membrana fusível (Figura 3.17b);
- Matriz (Figura 3.17c);
- Suporte da matriz (Figura 3.17d);



a) Punção



b) Membrana Fusível



c) Matriz



d) Suporte da Matriz

Figura 3.17 – Componentes do subsistema membrana fusível

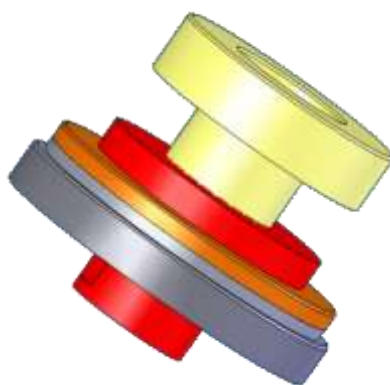


Figura 3.18 – Subsistema membrana fusível montado

3.6. SUBSISTEMA EJEÇÃO DE CARGA

Na versão atual do projétil FIREND®, o subsistema ejeção de carga e o subsistema tampa do compartimento de carga foram fundidos num só subsistema, que mantém o nome do primeiro. Esta fusão dá-se porque, devido a alterações geométricas nos componentes destes subsistemas, estes tornaram-se solidários (Figura 3.20). Este subsistema é constituído pelos seguintes componentes:

- Êmbolo (Figura 3.19a);
- Mola (Figura 3.19b);
- Veio (Figura 3.19d);
- Tampa (Figura 3.19c).



Figura 3.19 – Constituintes do subsistema ejeção de carga



Figura 3.20 – Subsistema ejeção de carga montado

A maioria dos componentes deste subsistema mantem a seleção de materiais feita anteriormente [2].

O material selecionado para o componente tampa é diferente da versão anterior [2]. A tampa é o componente no qual é aplicada toda a pressão e temperatura desenvolvidas no interior do obus, após a deflagração da pólvora da carga propulsora. Tendo em conta esta realidade, foi selecionado um material com boa resistência ao choque térmico. O material escolhido foi o aço ferramenta AISI H13 (Tabela 3.5).

Material	ρ [Kg/m ³]	Dureza HB	σ_R [MPa]	σ_{ced} [MPa]	ϵ [%]	E [GPa]	ν
Aço AISI H13	7800	180	1990	1650	9	210	0.3

Tabela 3.5 – Características do Aço AISI H13 [11]

O conceito que serve de base ao funcionamento do subsistema ejeção de carga não foi alterado relativamente à versão anterior de projeto [2].

O veio continua a ser o elo de ligação entre os demais componentes, utilizando para tal ligações roscadas (Figura 3.21).

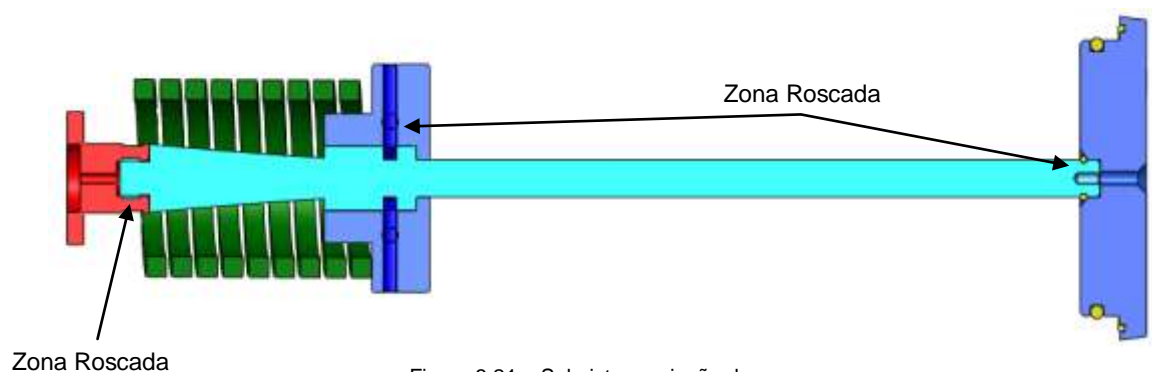


Figura 3.21 – Subsistema ejeção de carga

Como é possível observar na Figura 3.22, o êmbolo atual não possui uma parede exterior que permita centrar a mola durante a compressão da mesma. Esta alteração foi efetuada para simplificar o processo de fabrico deste componente e ainda porque esta função descrita é assegurada pela prensa especialmente desenvolvida para efetuar a compressão da mola.

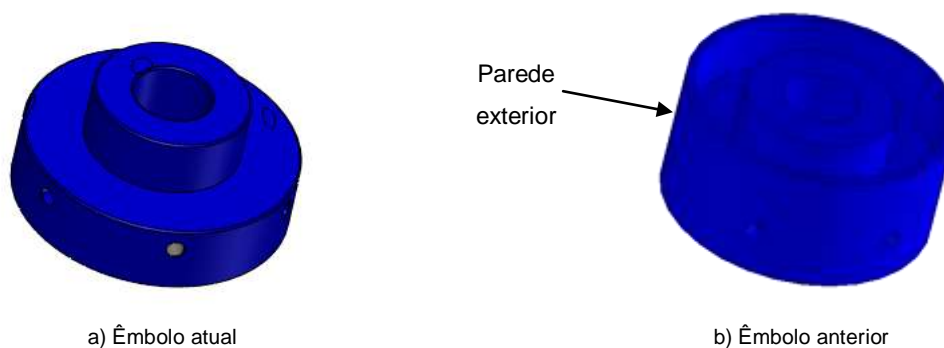


Figura 3.22 – Êmbolo

A ligação entre a tampa – componente introduzido neste subsistema – e o veio é feita através de uma ligação aparafusada, sendo que apenas o veio possui uma zona roscada (Figura 3.23).

A ligação entre o veio e a tampa é assegurada por um parafuso M5 de aço inoxidável de cabeça de embeber.

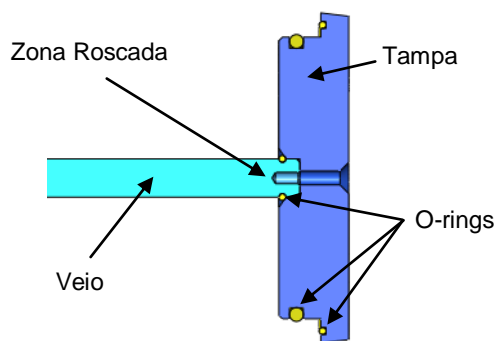


Figura 3.23 – Ligação entre o veio e a tampa

O veio possui ainda um O-ring na extremidade mais próxima da tampa (Figura 3.23). Este O-ring, conjugado com o O-ring de menor diâmetro da tampa e com a placa estanque, torna o compartimento de carga completamente estanque (Figura 3.2).

A tampa atual mantém a espessura de 20mm, no entanto, a geometria atual da tampa é substancialmente diferente da geometria da tampa anterior (Figura 3.24).

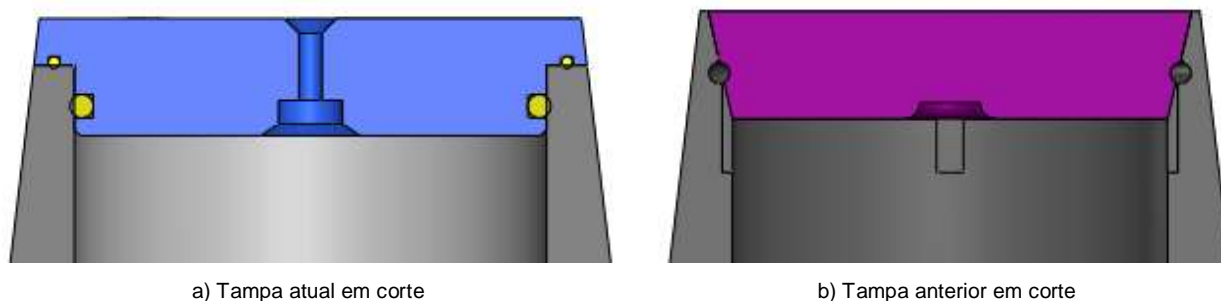


Figura 3.24 – Tampa em corte

A tampa da versão anterior possuía um perfil cônico, que era inserido e se tornava solidário com o corpo de acoplamento. Este perfil garantia o isolamento do projétil em relação ao resto da granada e permitia uma fácil ejeção da tampa.

A tampa atual possui uma zona inicial que acompanha o perfil exterior do projétil. O restante tem um perfil cilíndrico. Esta alteração de perfil, além de garantir, em conjunto com os o-rings, o isolamento do projétil, permite mais facilmente encaixar o veio na tampa, uma vez que o encaixe é guiado pelo corpo de acoplamento.

No centro da tampa existe uma zona cônica que tem como função assegurar que o veio entra no orifício que lhe é destinado. Posteriormente, o veio é unido à tampa com um parafuso de embeber (Figura 3.23).

A tampa possui dois canais para o-rings (Figura 3.24a) que têm ambos a função de isolamento. O o-ring de menor diâmetro garante, em conjunto com a placa estanque e com o o-ring que existe no veio, o isolamento do compartimento de carga. O o-ring de maior diâmetro destina-se a garantir que, no momento da detonação no interior do obus, não haja passagem de calor, nem de qualquer substância para o interior do projétil.

Os canais dos o-rings estão dimensionados para que, quando a tampa seja inserida no corpo de acoplamento e deforme plasticamente os o-rings, estes tenham espaço para se deformarem mas garantindo o isolamento. Desta forma, não é necessário qualquer canal no corpo de acoplamento para garantir a expansão dos o-rings (Figura 3.24b).

3.7. SUBSISTEMA COMPARTIMENTO DE CARGA

O subsistema compartimento de carga do projétil atual, calibre 105mm, mantém uma capacidade de cerca de 1 litro (1dm^3) [2]. Este subsistema é constituído pelos seguintes componentes:

- Corpo principal do projétil e corpo de acoplamento (Figura 3.3);
- Veio (Figura 3.19d);
- Tampa (Figura 3.19c);
- Êmbolo (Figura 3.19a);
- Placa estanque (Figura 3.25).

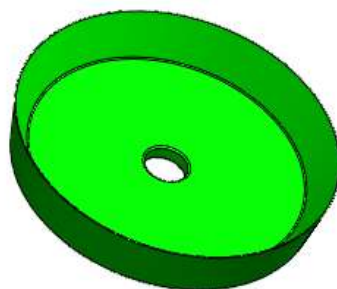


Figura 3.25 – Placa estanque

A placa estanque tem de garantir o isolamento do compartimento de carga do lado do êmbolo. Esta, é feita por medida, tem a forma de um retentor em C e pode ser feita a partir de um elastómero comum [15].

A maior parte dos componentes deste subsistema, também, pertencem a outros subsistemas. A introdução da placa estanque vem simplificar este subsistema e, ao contrário do saco idealizado na versão anterior [2], pode ser reutilizada. Em conjunto com o corpo do projétil e com a tampa delimita o compartimento de carga.

3.8. SUBSISTEMA DUMMY

Este subsistema é uma das inovações introduzidas na atual versão do projétil FIREND® face à versão anterior [2] e tem como função conferir um melhor comportamento aerodinâmico ao projétil durante o voo, permitindo no entanto que a energia do impacto seja absorvida unicamente pela espoleta e assim manter as vantagens da espoleta semiesférica [2].

Apesar de ter sido projetado, este componente não foi sujeito a qualquer ensaio balístico. A falta de tempo e ainda problemas no processo de fabrico fizeram com que não estivesse pronto a tempo de ser ensaiado. No entanto, foi possível tirar algumas conclusões relativamente ao processo de fabrico e aos materiais utilizados.

O processo de fabrico utilizado, SPIF (Single Point Incrementation Forming) (Figura 3.26), não foi o mais adequado uma vez que, tendo em conta a geometria deste componente, facilmente se induzia fissuras no material, inutilizando este. Desta forma poderemos concluir que será necessário um processo diferente, por exemplo fluo-torneamento [16].



Figura 3.26 – Processo de fabrico do dummy

Relativamente ao material utilizado, a escolha recaiu sobre alumínio da série 1000, dada a capacidade dúctil deste material, fundamental tendo em conta o processo de fabrico e a geometria e forma do componente.

Este subsistema é constituído apenas pelo componente que lhe dá o nome.

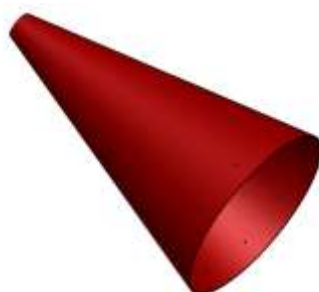


Figura 3.27 – Dummy

Este componente de forma cónica de espessura 0,8mm possui na sua base um diâmetro de 104mm, para garantir que não ultrapassa o diâmetro de 105mm da cinta de guiamento que existe no corpo principal do projétil.

O cone faz um ângulo de 75° com a horizontal. Este ângulo é consequência da necessidade de manter o diâmetro atrás referido e, ainda, da restrição relativa à altura de 166mm. Este ângulo permite, igualmente, que o componente em questão se torne perfeitamente solidário com a espoleta.

A fixação deste componente na espoleta poderá ser obtida através de 10 pontos de soldadura igualmente espaçados conforme se pode ver na Figura 3.27. Esta escolha deve-se acima de tudo devido à facilidade de execução. Mas outras formas de fixação também ser utilizadas, como por exemplo, parafusos no lugar dos pontos de soldadura.

4. FABRICO DO PROJÉTEL FIREND®

Um processo de fabrico eficiente é determinante para o sucesso do projeto FIREND®.

As Oficinas Gerais de Material de Engenharia foram o parceiro selecionado para o fabrico dos projéteis. Esta seleção teve por base a vasta experiência acumulada por esta instituição no que diz respeito aos processos utilizados no fabrico e, também, devido ao conhecimento possuído na produção de componentes para as Forças Armadas Portuguesas.

4.1. PROCESSO DE FABRICO

A produção dos projeteis FIREND® passou pelas seguintes fases:

- Modelação tridimensional e desenho técnico;
- Seleção dos processos de fabrico;
- Definição e preparação da matéria-prima;
- Seleção das ferramentas e dos parâmetros de corte;
- Programação da linguagem de código para torno CNC;

4.1.1. MODELAÇÃO TRIDIMENSIONAL E DESENHO TÉCNICO

Num processo de fabrico de um componente, a modelação tridimensional e desenho técnico é a fase que materializa uma ideia ou conceito. Esta fase é também a que permite incorporar e avaliar alterações desejadas ou necessárias que surgem ao longo do processo de fabrico.

Esta fase revelou-se muito importante pois permitiu avaliar o protótipo como um todo e ainda a ligação entre os diversos componentes. Permitiu também determinar as limitações geométricas e dimensionais que o projeto continha relativamente aos processos de fabrico e às respetivas ferramentas e ainda os requisitos necessários para suprimir estas mesmas limitações. Por exemplo, na Figura 3.6 após a introdução das dimensões da altura da rosca e da altura da caixa, necessária para a retração da ferramenta que fabrica a rosca, e fazendo a ligação entre os vários componentes, foi possível constatar que a espessura da parede do corpo principal era insuficiente.

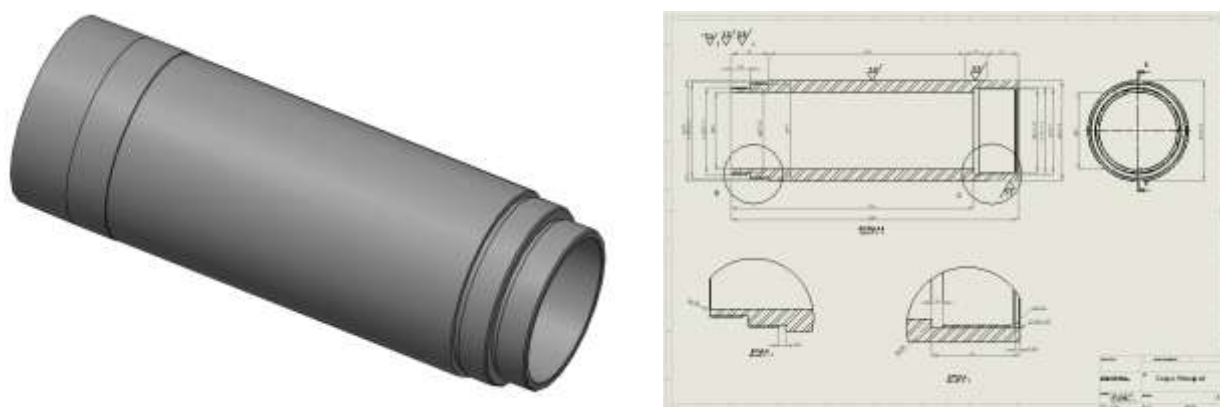


Figura 4.1 – Modelação tridimensional e desenho técnico dos componentes

A ferramenta de trabalho utilizada para a modelação tridimensional e desenho técnico, foi o software de CAD (Computer Aided Design) SolidWorks® versão 10. O SolidWorks baseia-se em computação paramétrica, criando formas tridimensionais a partir de formas geométricas elementares.

4.1.2. SELEÇÃO DOS PROCESSOS DE FABRICO

O processo de fabrico utilizado na produção do projétil foi o corte por arranque de aparta – torneamento / fresagem / furação. Este é um processo de alteração de forma através da remoção de material. Em alguns componentes utilizou-se o torneamento com CNC (Controlo Numérico Computadorizado). No caso do componente Dummy, o processo de SPIF. Este componente, ao contrário dos restantes, foi fabricado no IST, uma vez que as OGME não têm disponível este processo de fabrico. No entanto como não foi terminado, o Dummy não foi ensaiado nos ensaios balísticos.

As operações a que cada componente foi sujeito durante a produção do projétil estão discriminadas no Anexo 5.

4.1.3. DEFINIÇÃO E PREPARAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

Para a preparação e definição das dimensões dos brutos de maquinagem foram consideradas as seguintes operações:

- Corte com serrote mecânico;
- Facejamento;
- Sangramento.

Contabilização do material:

Corte serrote mecânico = 5mm

Facejamento = 2mm

Sangramento = 2mm

} **varão/peça = peça + serrote + facejamento + sangramento**

A matéria-prima selecionada para cada componente e as suas dimensões, tendo em conta as operações de preparação dos brutos de maquinagem, estão discriminadas no Anexo 5.

4.1.4. SELEÇÃO DAS FERRAMENTAS E DOS PARÂMETROS DE CORTE

A máquina-ferramenta utilizada no processo de fabrico: **Litz Hitech LT-400M**



Figura 4.2 – Torno CNC Litz Hitech LT-400M

Características gerais [16]:

Marca: Litz Hitech

Modelo: LT - 400M

Comando numérico: Heidenhain EP

Variáveis de corte [16]:

Diâmetro máximo torneável: 320 mm

Comprimento máximo torneável: 530 mm

Gama de velocidades de rotação: 30 - 4000 r.p.m.

Controlador: FANUC

Gama de velocidades de avanço: 20 m/min

Nº de eixos controlados: 2 eixos (X,Z)

Potência (100%): 22 KW

Sistema de montagem do contraponto: MK4

Nº de posições de ferramentas: 12



Figura 4.3 – Torreta do torno CNC



Figura 4.4 – Dispositivo de fixação

As ferramentas de corte utilizadas nas diversas operações foram as seguintes:

Operação:	Código Pastilha [17]:	Código Suporte [17]:
Facejamento	VCET 11 03 01-UM 1025	SVJBR 1212F 11-B1
Desbaste		
Acabamento		
Furação	R840-1200-30-A1A 1220	393.14-20 120
Desbaste interior	CCET 06 02 01-UM 1025	A08H-SCLCL 06
Acabamento interior		
Abertura de rosca interior	L166.0L-11MM01-100 1020	R166.0KF-16-1220-11B
Sangramento	L123D2-0150-1001-CS 1125	LF123D15-2525B

4.1.5. PROGRAMAÇÃO DA LINGUAGEM DE CÓDIGO PARA TORNO CNC

A linguagem de programação associada ao torno CNC utilizado foi a Linguagem dos G para FANUC. Esta linguagem tem por base um sistema de coordenadas cartesianas e um conjunto de códigos aos quais estão associadas instruções/operações.



Figura 4.5 – Consola de controlo/programação

A programação teve que ser implementada manualmente através da consola do utilizador (Figura 4.5), uma vez que, a máquina-ferramenta utilizada não possuía uma ligação ao computador, de tal forma que fosse possível transferir diretamente o código de um software cad/cam. Esta limitação diminui o nível

de automatização da produção do projétil, uma vez que torna demorado todo processo de transferência do código de programação, dificultando também a alteração do mesmo em caso de necessidade.

A programação do código utilizada na manufatura dos componentes no torno CNC encontra-se no Anexo 6.

4.2. SEQUÊNCIA DE MONTAGEM

A sequência de montagem é o processo lógico de associação dos vários componentes que constituem o projétil.

A sequência proposta segue a seguinte ordem (Figura 4.6):

1. Colocar o anel de esmagamento na espoleta;
2. Colocar o punção no chassis de suporte e enrosca-lo na espoleta;
3. Associar em série a membrana fusível, a matriz e o suporte da matriz;
4. Enroscar o suporte da matriz no chassis de suporte;
5. Enroscar o veio na membrana fusível;
6. Inserir a mola no veio;
7. Inserir o êmbolo no veio e comprimir a mola com o êmbolo, até este atingir a sua posição final, encostando-se no batente. Nessa posição, fixar o êmbolo por intermédio de seis pernos nos orifícios, enroscados até ao batente (veio);
8. Enroscar o chassis de suporte no corpo principal do projétil;
9. Enroscar a cinta de travamento no corpo principal do projétil, depois de colocar cola na respetiva rosca;
10. Inserir a placa estanque no veio e encostá-la ao êmbolo;
11. Montar o corpo de acoplamento do projétil no corpo principal do projétil;
12. Encaixar os O-rings na tampa do compartimento de carga, colocar a tampa no corpo do projétil e fixá-la por intermédio de um parafuso;

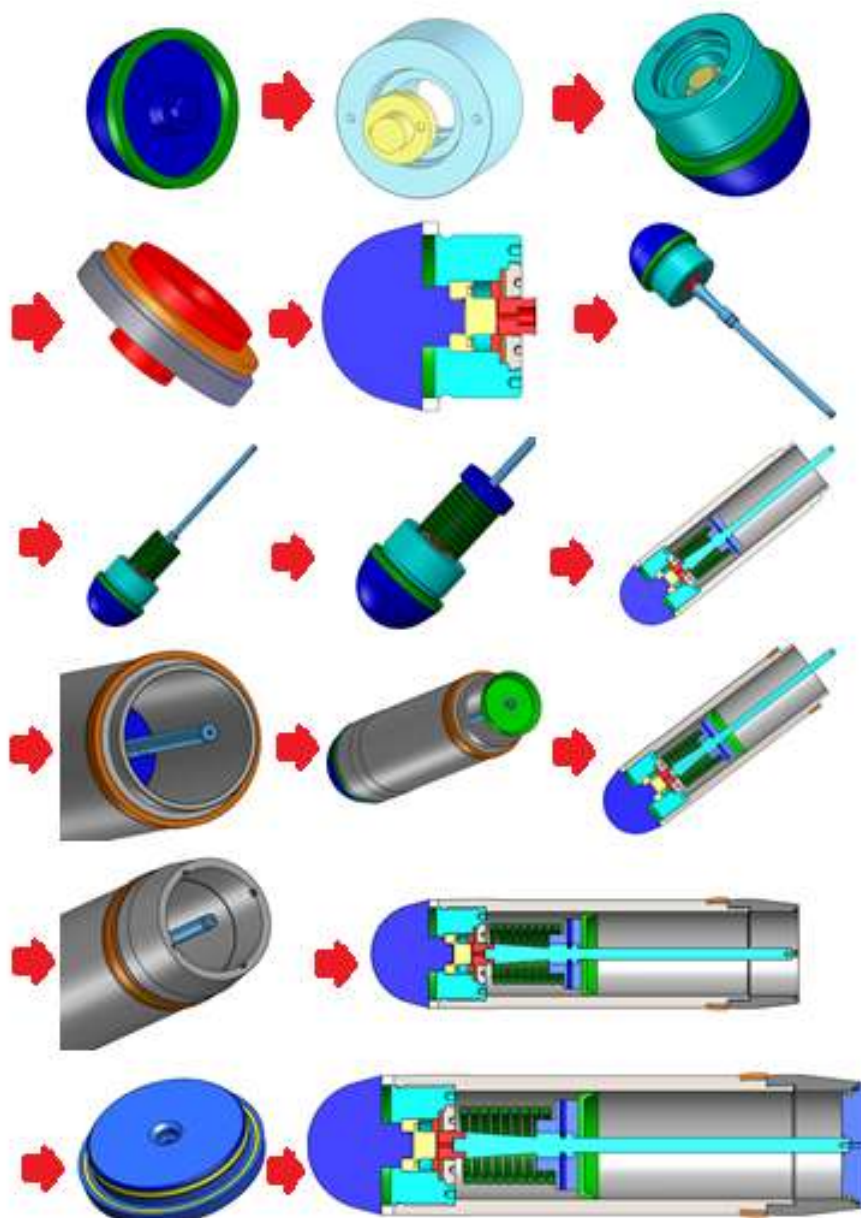


Figura 4.6 – Sequência de Montagem

4.3. EQUIPAMENTO AUXILIAR DE MONTAGEM

Com o objetivo de agilizar a montagem e, se necessário, a desmontagem do projétil FIREND® foi desenvolvido um conjunto de ferramentas auxiliares e uma prensa hidráulica para compressão da mola.

No fabrico destas ferramentas deve ser utilizado um aço ferramenta. O material escolhido foi o mesmo para a tampa, AISI H13 (Tabela 3.5)

4.3.1. CHAVE DE FUROS

A chave de furos (Figura 4.7) permite mais facilmente enroscar, numa primeira fase de montagem do projétil, o punção na espoleta, e posteriormente, o suporte da matriz no chassi de suporte.

Quando utilizada a chave de furos, deve ser operada com o auxílio de uma chave de bocas ou com uma chave francesa (Figura 4.8). Para melhorar a sintonia entre estas duas chaves, a chave de furos possui dois rasgos laterais.



Figura 4.7 – Chave de furos



Figura 4.8 – Chave de furos com chave de bocas

Como é possível verificar na Figura 4.7, a chave de furos possui duas secções de diâmetros diferentes, cada uma com dois pinos. A secção de menor diâmetro permite apertar o punção (Figura 4.9). A secção de maior diâmetro destina-se ao suporte da matriz (Figura 4.10).

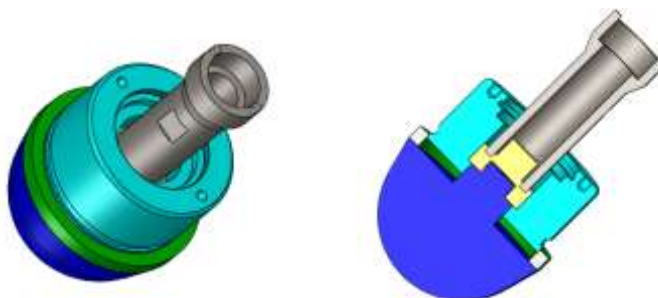


Figura 4.9 – Punção apertado pela chave de furos

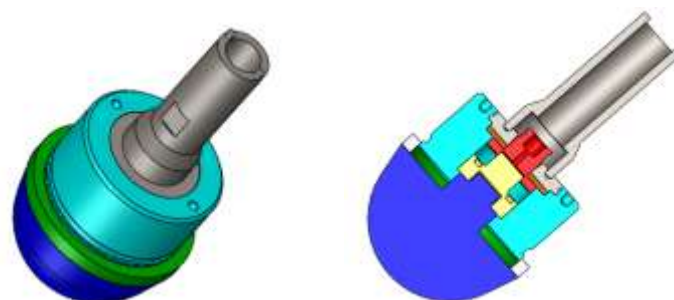


Figura 4.10 – Suporte da matriz apertado pela chave de furos

4.3.2. CHAVE DE SUPORTE

A chave de suporte serve de apoio a três fases da montagem do projétil. Para cada uma das fases referidas possui uma secção com características diferentes, como se pode verificar na Figura 4.11.



Figura 4.11 – Chave de Suporte

Numa primeira fase, a chave de suporte serve de apoio à ligação entre o punção e a espoleta (Figura 4.12). Para tal, possui uma secção reta de maior largura que irá encaixar nos entalhes que a

espoleta possui (Figura 4.13). É de referir ainda que a espessura desta chave permita que seja operada entre a espoleta e o chassis de suporte (Figura 4.12).



Figura 4.12 – Ligação entre o punção e a espoleta com auxílio das chaves



Figura 4.13 – Espoleta com chave de suporte

Numa segunda fase, a chave de suporte serve de apoio à ligação entre o chassis de suporte e o suporte da matriz (Figura 4.14). Para tal, possui uma secção circular com dois pinos que irão encaixar nos dois furos que o chassis de suporte possui (Figura 4.15).

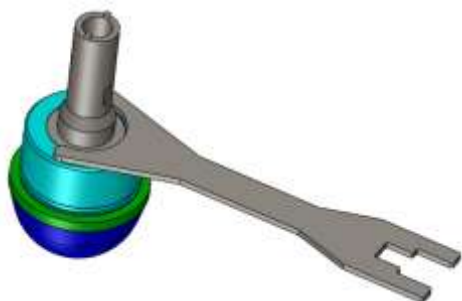


Figura 4.14 – Ligação entre o chassis de suporte e o suporte da matriz com auxílio das chaves



Figura 4.15 – Chassis de suporte com chave de suporte

Numa terceira fase, a chave de suporte serve de apoio à ligação entre a membrana fusível e o veio. Por este motivo, possui uma secção reta de menor largura que irá encaixar nos entalhes que existem na membrana fusível (Figura 4.16). Esta ligação pode e deve ser auxiliada por uma chave de bocas ou por uma chave francesa (Figura 4.17), utilizando os entalhes que o veio possui.



Figura 4.16 – Ligação da membrana fusível com o veio com o auxílio da chave de suporte



Figura 4.17 – Veio com chave francesa

4.3.3. CHAVE TAMAC

A Chave TAMAC permite mais facilmente enroscar o corpo de acoplamento no corpo principal.



Figura 4.18 – Chave TAMAC



Figura 4.19 – Chave TAMAC com corpo de acoplamento

Como se pode verificar pela Figura 4.18, a chave TAMAC possui quatro pinos igualmente espaçados que encaixam perfeitamente nos quatro rasgos (Figura 4.19), também igualmente espaçados, no corpo de acoplamento (Figura 3.3b).

Para facilitar o transporte desta chave, o cabo que permite operar esta chave pode ser desmontado (Figura 4.20).



Figura 4.20 – Chave TAMAC desmontada

A chave TAMAC possui ainda dois pinos suplentes que são guardados nas extremidades do cabo. Estes pinos, quando inseridos nas respectivas extremidades, impedem que o cabo saia do orifício onde este atua.

4.3.4. PRENSA

A prensa hidráulica para auxílio à montagem do projétil FIREND® foi um trabalho desenvolvido em conjunto com alunos do 4º ano de Engenharia Mecânica e tem como função a compressão da mola, armando-se assim o projétil, em qualquer lugar e sob quaisquer condições atmosféricas.

Este equipamento, tem por base a simplicidade de utilização e transporte, permitindo com o auxílio das ferramentas fabricadas, a montagem e desmontagem do projétil de uma forma rápida e expedita em qualquer momento e sob quaisquer condições.

Para o projeto e fabrico da prensa foram estabelecidas as seguintes especificações:

- Capacidade de compressão: 7000N;
- Deslocamento: 78mm;
- Portátil;
- De fácil operabilidade;
- Capacidades de ser adaptada para outros calibres, nomeadamente 155mm;
- Construção económica.

Foram desenvolvidos dois projetos para a prensa, dos quais, avaliando vantagens e desvantagens, foi escolhido um.



Figura 4.21 – Prensa 1

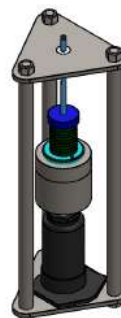


Figura 4.22 – Prensa 2

Prensa 1

Vantagens

- Auto centrante
- Auto guiada
- Não existência de momentos fletores
- Robusta
- Fixação da munição

Desvantagens

- Difícil fabrico (Casquilhos)
- Dificuldade em aquisição de material
- Elevado custo

Prensa 2

Vantagens

- Foram evitadas as guias
- Redução do curso da prensa
- Menos material gasto
- Facilmente desmontável
- Simplicidade

Desvantagens

- Possibilidade de flexões
- Acoplamento de munição (copo)

Avaliando as vantagens e desvantagens apresentadas, optou-se pelo fabrico da prensa 2 (Figura 4.22).

O macaco hidráulico selecionado, componente fundamental da prensa a fabricar, tem as seguintes especificações técnicas.



Figura 4.23 – Macaco hidráulico e respetivas especificações técnicas

Especificações técnicas

- Capacidade 4 Toneladas
- Curso 370mm
- Dois segmentos
- Fixado pela base

Tendo em conta que uma das desvantagens apresentadas para a prensa escolhida foi a possibilidade de existência de flexão, procedeu-se a uma análise de tensões[16] para uma força de 7000N, força necessária para compressão da mola, e para uma força de 40000N, força máxima.

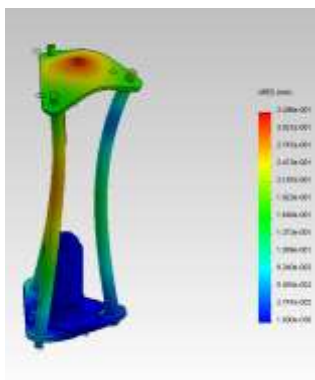


Figura 4.24 - Deformações de trabalho (aumentado 213x)

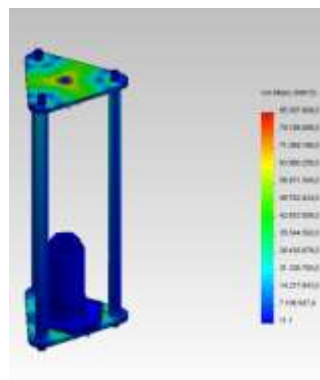


Figura 4.25 – Tensão de trabalho (Tensão Equivalente de Von Mises)

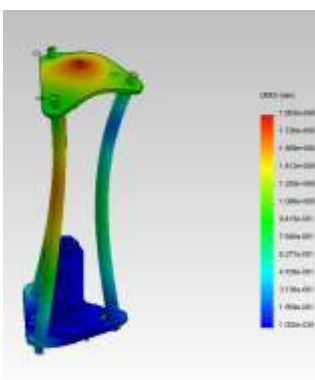


Figura 4.26 – Deformações em carga máxima (aumentada 37x)

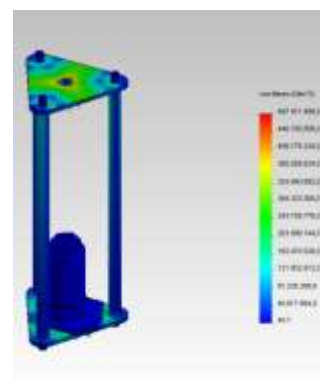


Figura 4.27 – Tensões em carga máxima (Tensão Equivalente de Von Mises)

A prensa hidráulica foi fabricada de acordo com todas as especificações apresentadas e foi testada e operada numa situação real, tendo satisfeito todos os pré-requisitos estabelecidos.



Figura 4.28 – Prensa hidráulica para montagem do projétil

5. ENSAIOS DE FUNCIONALIDADE

Os ensaios de funcionalidade consistiram em avaliar o desempenho do projétil em condições de tiro reais utilizando para tal um Obus de Artilharia de calibre 105mm [7].

5.1. OBJECTIVOS

Para os ensaios de funcionalidade foram definidos os seguintes objetivos:

- Verificar se o cartucho propulsor é compatível com o projétil;
- Verificar se o sistema de fixação da cinta de travamento permite um disparo com eficiência;
- Verificar se a deformação plástica da cinta de travamento permitiu a obturação do projétil no interior do tubo e se o processo de engenharia inverso utilizado, deu resultado;
- Avaliar o corte da membrana fusível, nomeadamente a superfície de corte;
- Avaliar o comportamento e estabilidade aerodinâmica do projétil durante o voo;
- Avaliar o sistema de detonação mecânica e a extração da carga após o impacto;
- Verificar quais os componentes que podem ser reutilizados após os ensaios;

5.2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O procedimento experimental consistiu na realização de tiro de artilharia com o projétil FIREND®.

Antes de se proceder aos ensaios balísticos, foi necessário verificar se o obus utilizado [7] se encontrava em condições de operacionalidade. Para tal foi necessário realizar o recuo artificial da ligação elástica do próprio obus de forma a verificar se a mesma se encontrava dentro dos parâmetros de fábrica. Também nesta fase de revisão da arma, foi necessário efetuar uma revisão em termos de mecânica e acoplar e verificar todos os aparelhos de pontaria que dele fazem parte.

Para garantir que as tolerâncias geométricas utilizadas no fabrico do projétil estavam de acordo com as dimensões do cano do obus, antes dos ensaios balísticos, todos os projeteis, desprovidos de cinta de travamento, foram introduzidos no cano do obus e passados de uma extremidade à outra. Assim, validou-se o toleranciamento utilizado no projétil e garantiu-se que não existiam obstruções no cano do obus.

Passando à fase experimental, ao tiro com o obus, foi em primeiro lugar realizado tiro com 4 granadas HE [12] para colocar o obus em condições ótimas de tiro e ainda definir valores padrões (elevações e trajetórias) utilizados como referência no tiro com o projétil FIREND®, a realizar posteriormente.

Em seguida, procedeu-se ao encartuchamento do projétil com o cartucho M14 (Figura 5.1), constituindo-se, desta forma, a munição de artilharia (Figura 5.2).

Por último, executou-se o tiro de artilharia utilizando-se para tal o Obus M101 A1 105mm/22 (Figura 5.3), de calibre 105mm [7].



Figura 5.1 – Cartucho M14



Figura 5.2 – Munição FIREND



Figura 5.3 – Obus M101 A1 105mm/22

Durante a realização dos ensaios, foram recolhidos dados relativos à velocidade do projétil à boca do obus, utilizando-se para tal o radar velocímetro RS337-MK III AFA MVR (Figura 5.4), e, ainda, dados relativos ao comportamento do projétil, à saída do tubo, utilizando-se para tal uma câmara fotográfica de alta velocidade (Figura 5.5).



Figura 5.4 – Radar velocímetro



Figura 5.5 – Câmera fotográfica de alta velocidade

Após a realização de todos os ensaios, procedeu-se à localização e recolha, no terreno, dos cinco projéteis e, também, ao registo das coordenadas posicionais dos locais onde se deram os diferentes impactos, utilizando-se para tal o recetor GPS TOPCON GGD (Figura 5.6).



Figura 5.6 – Recetor de GPS

5.3. CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

O projétil FIREND® foi testado no polígono de tiro da Escola Prática de Artilharia em Vendas Novas (Figura 5.7 e Figura 5.8). Tendo em conta a área deste polígono e o número de projéteis disponíveis, apenas foi possível realizar tiro com carga propulsora 1.



Figura 5.7 – Escola Prática de Artilharia



Figura 5.8 – Polígono de tiro

O local de impacto dos cinco projéteis estava situado a cerca de 2000m da posição de tiro, sendo esta uma área bastante arenosa (Figura 5.9). A dispersão dos impactos foi aproximadamente de 70m e a velocidade de impacto rondou os 500Km/h.



Figura 5.9 – Local de impacto

Em cada ensaio realizado, o projétil possuiu diferentes condições a avaliar (Anexos 7):

- Para avaliar a rigidez de detonação, isto é, a força necessária para despoletar o mecanismo de detonação mecânica, foram utilizadas membranas fusíveis com diferentes espessuras (1mm, 1,5mm e 2mm);
- Para avaliar a dureza ideal da cinta de travamento e a sua deformação plástica, foram utilizadas duas cintas com diferentes durezas (120 HV e 150 HV);
- Para simular a carga e avaliar a sua dispersão no terreno, utilizaram-se bolas de paintball e bolas de airsoft (Figura 5.10), de forma a aproveitar os ensaios balísticos.



Figura 5.10 – Bolas de paintball

5.4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A análise dos resultados experimentais foi dividida de acordo com os objetivos estabelecidos inicialmente, e por isso foi feita a observação no obus, durante a trajetória e no local de impacto.

No instante em que o projétil deixa o tubo do obus é possível observar-se, através das fotografias tiradas pela camara de alta velocidade, que, ao contrário da granada HE [12], há escape de gases e por isso fumos a sair à frente da munição (Figura 5.11). Isto significa que a obturação da cinta de travamento

não é completa, podendo o seu diâmetro exterior ser insuficiente para preencher os espaços vazios entre as estrias, ou a deformação plástica do material não se ter dado da melhor forma. Esta obturação defeituosa traduzir-se-á numa perda de pressão, que por sua vez se traduz numa perda de velocidade do projétil à boca do cano do obus e numa menor distância percorrida durante o voo, ou seja, menor alcance.



Figura 5.11 – Escape de gases à boca do obus

Foi ainda verificado que os projéteis que possuíam uma membrana fusível com uma espessura de 1mm perdiam o sistema de extração da carga assim que abandonavam o obus (Figura 5.12). Isto significa que a espessura de 1mm na membrana fusível não é suficiente para resistir à pressão conjunta da resistência do ar, da força de sucção e da força de impulsão provocada pela deflagração da carga propulsora, que surge imediatamente à saída da boca do cano do obus.



Figura 5.12 – Perda do sistema de extração de carga

Durante a realização dos ensaios de tiro foram colocados no polígono, postos de observação avançados, com o objetivo de observar/ouvir ruídos anormais da munição ao longo da sua trajetória, e que fossem indicativos de anomalias aerodinâmicas.

As principais observações que levam a classificar de anormal um disparo e por conseguinte uma trajetória anormal, são [19] [20]:

- Má estabilidade à partida que se caracteriza por ruídos irregulares de período relativamente grande durante a trajetória da munição;
- Má estabilidade ao longo da trajetória caracterizada pelo nascimento e intensificação de um ruído periódico ao longo da trajetória, podendo também ser acompanhado de basculamento do projétil o que dará origem a um encurtamento do alcance;
- Existência de pontos de impacto secundários, motivados por ricochete;

- Perda de uma falsa ogiva ou de uma cinta, facto que se verifica em geral próximo da posição da boca de fogo e se nota por um ruído ligeiro que termina quando a parte destacada cai no solo.

Poderemos então concluir que nenhuma destas situações aconteceu e por isso poderemos afirmar que a munição teve também um comportamento aerodinâmico estável.

Após a realização dos ensaios e depois de determinados e observados os locais de impacto, verificou-se que os projéteis se encontravam enterrados a uma profundidade aproximada de 1,5m e que os sistemas de extração mal se tinham separado dos projéteis. Este ultimo aspeto deveu-se a dois fatores: à grande velocidade com que os projéteis atingiram o solo e ao facto de ser um solo bastante arenoso. Estes dois fatores conjugados fizeram com que os projéteis perfurassem o solo facilmente e tapassem ao mesmo tempo o percurso que anteriormente tinham feito. Impossibilitando assim uma extração e dispersão adequada da carga (Figura 5.13).



Figura 5.13 – Local de impacto do projétil FZ

Apesar do local de impacto ser bastante arenoso e tendo em conta que a atual versão do projétil FIREND® possui um anel de esmagamento com uma resistência à compressão bastante superior ao anel de esmagamento da versão anterior, verificou-se que todas as restantes membranas fusíveis se encontravam separadas em duas partes (Figura 5.14). A membrana fusível foi cortada na sua totalidade e apresenta uma superfície de corte obtida por arrombamento do tipo III. Não existe praticamente rebarba e as restantes superfícies (cone de rotura, penetração e repuxamento), apresentam um equilíbrio entre si, podendo considerar-se um corte perfeito. Este fato contraria de certo modo o estudo efetuado anteriormente [2], que apontava para uma morfologia da superfície obtida no corte por arrombamento em função da folga projetada entre punção e matriz, do tipo I, com uma rebarba importante (Figura 5.15) [16].



Figura 5.14 – Sistema de extração separado do resto do projétil



Figura 5.15 – Membrana fusível antes e depois dos ensaios balísticos

Verificou-se igualmente que, em todos os ensaios, o anel de esmagamento foi cortado e desta forma, inutilizado para futuros ensaios.

Além dos anéis de esmagamento, também os veios apresentavam alguma deformação plástica. Dos cinco ensaios realizados, apenas foi possível recuperar dois veios, os restantes estavam inutilizados. Quanto aos restantes componentes, apresentavam-se em condições de ser reutilizados.

O corte da membrana fusível não deformou o punção e a matriz. Este facto reflete uma boa seleção do material e do tratamento térmico para estes componentes, bem como o tipo de folga entre punção e matriz [2].

Após o registo das coordenadas posicionais dos locais de impacto, procedeu-se à análise dos resultados relativos ao alcance e posição de impacto, tendo-se elaborado a Tabela 5.1.

Ensaio	V_0 [m/s]	dif V_0 [m/s]	Correção em Distancia da dif V_0 [m]	Dist. Esp. [m]	Dist. Reg. [m]
HE	181,6	0	0	2480	2480
1 FZ	178,5	- 3,1	78,74	2401,26	2040
2 PV	179,9	- 1,7	43,18	2436,82	2030
3 LB	176,8	- 4,8	121,92	2358,08	2050
4 BJ	172,7	- 8,9	226,06	2253,94	2000
5 ZG	178,9	- 2,7	68,58	2411,42	2070

Tabela 5.1 – Registo das distâncias alcançadas pelos projéteis

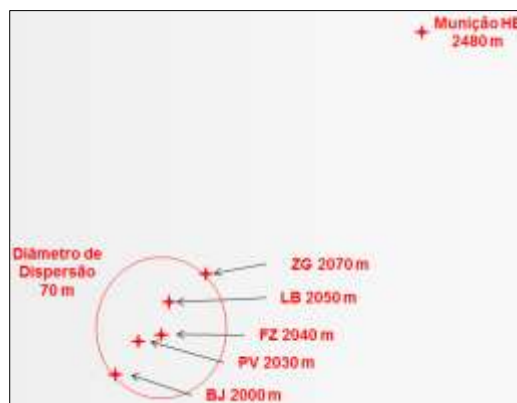


Figura 5.16 – Dispersão dos locais de impacto dos ensaios balísticos e da granada HE

Tendo por referência os dados do tiro da granada HE, verificou-se que todos os ensaios do projétil FIREND® registam uma perda de velocidade inicial (dif V_0) que se traduz num menor alcance.

Tendo-se em conta a correção da distância correspondente à diferença de velocidade inicial, o alcance esperado encontra-se registado na coluna Dist. Esp. No entanto, o alcance obtido foi significativamente inferior ao previsto, mas a dispersão das posições de impacto também foi bastante inferior, diâmetro de 70m.

Estes alcances e a respetiva dispersão podem ter diversas causas:

Influência da Cinta de Travamento

Ensaio		V_0 [m/s]	dif V_0 [m/s]	Correção em Distancia da dif V_0 [m]	Dist. Esp. [m]	Dist. Reg. [m]
HE		181,6	0	0	2480	2480
1	FZ	178,5	- 3,1	78,74	2401,26	2040
5	ZG	178,9	- 2,7	68,58	2411,42	2070

Tabela 5.2 – Registo das V_0 e Dist. Reg. dos ensaios 1 e 5

Na Tabela 5.2 estão registados os dados dos ensaios 1 e 5. A variável entre estes dois ensaios estava no material da cinta de travamento utilizado em cada e como tal na sua dureza. O ensaio 1 possuía uma cinta de travamento em latão, CuZn40Pb2 (HV120) e o ensaio 5 possuía uma cinta de travamento em bronze, 1705CuSn12 (HV150).

Podemos constatar pela Tabela 5.2 que os ensaios com uma cinta de travamento com uma dureza superior tiveram V_0 superior e um alcance também superior aos ensaios com cinta de travamento com dureza inferior, o que indica que a deformação plástica da cinta de travamento com maior dureza teve um comportamento mais eficaz em termos de obturação..

Influência da Espessura da Membrana Fusível

Ensaio		V_0 [m/s]	dif V_0 [m/s]	Correção em Distancia da dif V_0 [m]	Dist. Esp. [m]	Dist. Reg. [m]
HE		181,6	0	0	2480	2480
1	FZ	178,5	- 3,1	78,74	2401,26	2040
3	LB	176,8	- 4,8	121,92	2358,08	2050
4	BJ	172,7	- 8,9	226,06	2253,94	2000

Tabela 5.3 – Registo das V_0 e Distância Registrada dos ensaios 1, 3 e 4

Na Tabela 5.3 estão registados os dados dos ensaios 1, 3 e 4. A variável entre estes ensaios está na espessura da membrana fusível. O ensaio 1 possui uma membrana fusível com uma espessura de 2mm, o ensaio 3 uma membrana com uma espessura de 1.5mm e o ensaio 4 uma membrana fusível com uma espessura de 1mm.

Podemos constatar pela Tabela 5.3 que entre os ensaios 1 e 3 e o 4 existe uma diferença de V_0 , fruto da deflagração da carga propulsora ou da temperatura das pólvoras e por conseguinte de alcance. Deve-se ter em conta que no ensaio 4, o projétil perdeu o sistema de extração de carga à boca do obus, podendo-se concluir que para além de uma espessura de 1mm não ser suficiente para resistir à pressão à boca do obus também origina a perda de componentes e que depois se virá a traduzir numa menor performance.

O próprio estado de conservação em que o obus utilizado se encontrava, também pode ter contribuído para estes resultados. Isto é, o obus utilizado possuía já algum desgaste originado pela própria utilização ao longo dos anos.

Deve-se ainda considerar o erro de medição associado, quer aos aparelhos de medição quer ao próprio operador e do qual poderá advir erros na medição da V_0 . Poderão ainda ter existido erros menos relevantes associados à medição da temperatura ambiente e ainda do peso dos projéteis e da própria pólvora.

Deve-se ainda considerar o facto de os valores padrões utilizados para efetuar tiro terem sido os da granada HE, que possui uma geometria bastante distinta da do projétil FIREND®.

Todos estes factos apresentados, de forma separada ou combinados, poderão constituir hipóteses que expliquem quer os alcances obtidos quer a dispersão dos locais de impacto.

6. CONCLUSÕES

De todas as conclusões que são possíveis estabelecer, como resultado de todas as fases deste projeto, destaca-se o facto de todo o conceito desenvolvido, salvo alguns pormenores passíveis de serem melhorados, ter tido uma muito boa prestação, em condições reais de tiro de artilharia.

Outras conclusões que se podem retirar, são as seguintes:

- Relativamente à versão anterior deste projeto, foram introduzidas alterações ao nível da geometria e dos materiais seleccionados para os diversos componentes. Estas alterações, na maior parte dos componentes, tiveram desempenhos, tendo em conta os ensaios balísticos, de acordo com o pretendido;
- Relativamente à cinta de travamento, é possível concluir que esta teve um desempenho de obturação inferior ao da granada HE. Este facto permite antever que em condições de melhor obturação, o alcance será melhor;
- Mesmo sem a utilização do subsistema dummy, o projétil demonstrou um comportamento aerodinâmico muito estável. Este facto, suporta, ainda mais, a decisão de manter a espoleta com uma geometria semiesférica, em detrimento de uma geometria ogival dos projéteis bélicos. Este facto apenas era suportado pelo trabalho realizado previamente em termos de análise de estabilidade de voo e análise de trajetória;
- Durante os ensaios balísticos do projétil FIREND® foram usadas membranas fusíveis com espessuras diferentes (1mm, 1,5mm e 2mm). Considerando carga propulsora 1 e membranas com espessura de 1mm, verificou-se que estas não resistiam à pressão conjunta da resistência do ar, da força de sucção e impulsão, ocorrendo a detonação na vizinhança da boca do obus;
- Durante os ensaios balísticos, o projétil FIREND® apresentou uma dispersão das posições de impacto, em termos de área, bastante reduzida. Os resultados obtidos foram excelentes face aos objetivos pretendidos para o FIREND®;
- Relativamente à ejeção e dispersão da carga, não foi possível retirar conclusões significativas devido à constituição do solo na zona de impacto, no entanto verificou-se que este aspeto se deve ao elevado valor da velocidade de impacto quando comparado com o sistema mecânico de ejeção;
- Todas as granadas foram recuperadas, incluindo todos os seus componentes com exceção das duas tampas, que foram ejetadas à boca do obus;
- Após o ensaio, o estado geral dos componentes permite antever a reutilização da maioria. Os elementos críticos, nomeadamente os corpos do projétil, devido à interação com cano do obus, devem passar por uma análise metrológica cuidada, para garantir as dimensões, tolerâncias e acabamentos adequados à sua reutilização.

7. TRABALHOS FUTUROS

Todo o trabalho desenvolvido até este momento pode e deve ser continuado para potenciar o sucesso do projétil FIREND®.

Tendo em conta que foi dado um passo muito importante, isto é, a realização de ensaios balísticos em condições reais, e que foi atingido o sucesso, os próximos objetivos serão os seguintes:

- Otimizar o sistema de extração e dispersão da carga;
- Avaliar a deformação plástica da cinta de travamento e se o material foi corretamente escolhido;
- Desenvolvimento de uma espoleta de tempos, de forma a que seja possível acionar o mecanismo de detonação mecânica antes do impacto no solo;
- Realizar ensaios balísticos suficientes para elaborar as tabuas de tiro deste projétil e, assim, aferir os parâmetros de execução de tiro;
- Transpor o projétil para um calibre de 155mm, aumentando assim o volume de carga e por consequência o raio de ação da substância utilizada;
- Realizar ensaios balísticos com cargas propulsoras superiores à carga 1;
- Avaliar o período de vida dos componentes reutilizados nos ensaios balísticos;
- Selecionar ou desenvolver a substância que será transportada no interior do FIREND®, tendo em conta o raio e a forma de dispersão;

Depois de atingidos estes objetivos, o próximo passo será a utilização do projétil FIREND® no combate aos incêndios florestais, para se avaliar o seu desempenho tendo em conta o fim a que se destina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] “Relatório Anual de Incêndios Florestais,” Direcção-Geral dos Recursos Florestais, 2007.
- [2] J. Balula, Fabrico para Ensaio de Conceito Melhorado de um Projétil de Detonação Mecânica para o Combate a Incêndios Florestais, Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2008.
- [3] L. Quinto e E. Dias, Desenvolvimento de Um Projétil de Accionamento Mecânico, Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2006.
- [4] Manual de Munições de Artilharia de Campanha, Academia Militar, 1994.
- [5] “Marcas e Patentes,” <http://www.marcasepatentes.pt>. [Acedido em Julho 2012].
- [6] F. Lima, Desenvolvimento de Munição de Artilharia para Combate a Incêndios Florestais, Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2005.
- [7] *Ficha de Material N.º 48210.1015.02 - Obus M101A1 105mm/22*, Lisboa: Direcção do Serviço de Material.
- [8] *Ficha de Material N.º 3F212.1315.01 - Cartucho c/ Granada de Fumos WP M60 Obus 105mm*, Lisboa: Direcção do Serviço de Material.
- [9] D. Carlucci e S. Jacobson, Ballistics, Theory and Design of Guns and Ammunition, CRC Press, 2008.
- [10] “Henkel,” <http://www.henkel.pt>. [Acedido em Maio 2012].
- [11] “Matweb,” <http://www.matweb.com/index.aspx>. [Acedido em Maio 2012].
- [12] *Ficha de Material 3F211.1315.03 - Cartucho com Granada Explosiva TNT M1 Obus 105mm*, Lisboa: Direcção do Serviço de Material.
- [13] “Loctite,” <http://www.loctite.pt>. [Acedido em Abril 2012].
- [14] “Matbase,” <http://www.matbase.com/material/polymers/elastomers/chloroprene-rubber/properties>. [Acedido em Maio 2012].
- [15] “Vedamais,” <http://www.vedamais.pt/>. [Acedido em Maio 2012].
- [16] J. Rodrigues e P. Martins, Tecnologia da Deformação Plástica, 2º ed., vol. I e II, Escolar Editora, 2010.
- [17] “Litz Hitech,” <http://www.litzhitech.com/LT-400.html>. [Acedido em Julho 2012].
- [18] “Sandvik,” <http://www.sandvik.com>. [Acedido em Março 2012].
- [19] C. Farrar e D. Leeming, Military Ballistics, 1982.
- [20] J. C. Álvares, Balística Interna e Externa, Lisboa: Academia Militar, 1983.
- [21] *Catálogo de molas FIBRO*.
- [22] Shigley, Mischke e Budynas, Mechanical Engineering Design, 8 ed., McGraw-Hill, 2004.
- [23] *Catálogo da Thyssen*.

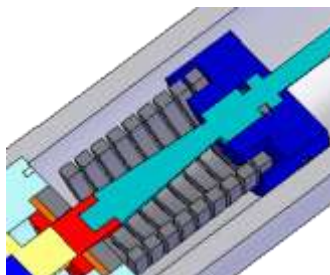
BIBLIOGRAFIA

- António Guerra, José Leitão, *Fenomenologia da combustão e extintores (Vol. VII), Manual de Formação Inicial do Bombeiro*, Escola Nacional de Bombeiros, 2003.
- Carlos Castro, Gouveia Serra, José Parola, *Combate a incêndios florestais (vol. XIII), Manual de Formação Inicial do Bombeiro*, Escola Nacional de Bombeiros, 2003.
- Catálogo de molas FIBRO.
- Jorge Balula, *Fabrico para Ensaio de Conceito Melhorado de um Projétil de Detonação Mecânica para o Combate a Incêndios Florestais*, Instituto Superior Técnico, 2008.
- Eduardo Dias, Luís Quinto, *Desenvolvimento de Um Projétil de Accionamento Mecânico*, Instituto Superior Técnico, 2006.
- Francisco Lima, *Desenvolvimento de Munições de Artilharia para Combate a Incêndios Florestais*, Instituto Superior Técnico, 2005.
- Jorge Rodrigues, Paulo Martins, *Tecnologia da Deformação Plástica*, Vol I, Vol II, Escolar Editora, 2010.
- *Manual de Munições de Artilharia de Campanha*, Academia Militar, 1994.
- Shigley, Mischke, Budynas, *Mechanical Engineering Design*, 8th edition, McGraw-Hill, 2004.
- Ficha de Material – Cartucho com Granada Explosiva TNT M1 Obus 105mm, Exército Português.
- Ficha de Material – Obus M101 A1 105mm, Exército Português.
- D. Carlucci e S. Jacobson, *Ballistics, Theory and Design of Guns and Ammunition*, CRC Press, 2008.
- J. C. Álvares, *Balística Interna e Externa*, Lisboa: Academia Militar, 1983.
- C. Farrar e D. Leeming, *Military Ballistics*, 1982.

ANEXOS

Anexo 1. Dimensionamento da Mola

Para o dimensionamento da mola não foi considerada a massa da tampa do compartimento de carga por se considerar que esta é expelida por ação da energia do impacto do projétil com o solo depois do corte.



Mola

Na tabela seguinte estão apresentados todos os elementos do projétil considerados para o cálculo da mola a utilizar.

Elemento	Veio	Êmbolo	Membrana	Carga	Massa Total
Massa [kg]	0.286	0.13	0.079	4	4.495

Massa dos elementos do projétil projetados pela mola

Para efeitos de cálculo maximizou-se o valor da massa obtida de 4.495kg para 5kg.

Foi definida como altura padrão para a ejeção da carga do projétil 5m.

Os parâmetros auxiliares para o desenvolvimento do estudo, estão apresentados na tabela seguinte:

Variáveis	Massa total [kg]	g [m/s^2]	h [m]
Valor	5	9.82	5

Aproximações efetuadas para a determinação da mola

Tendo em conta estes parâmetros, chegou-se ao valor de energia potencial de 245.5J. Considerando este valor igual à energia da mola e com base nos catálogos da FIBRO, a mola escolhida foi a mola com a referência 241.14.63.152, com uma energia de 243.75J. As características da mola encontram-se na seguinte.

Mola	D_d [mm]	D_h [mm]	L_o [mm]	L_n [mm]	K [N/mm]	F [N]	U_{mola} [J]
241.14.63.152	38	63	152.0	76.0	84.4	6414.4	243.75

Modelos de molas que enquadramos nos requisitos de projeto [18]

Embora não cumpra exatamente as especificações energéticas, foi considerado o melhor compromisso face à limitação de espaço de carga e força exercida na membrana, tendo um dos menores comprimentos quando em carga máxima e possibilitando uma maior capacidade de armazenamento.

Anexo 2. Verificação da resistência dos pernos

Tendo em vista a verificação da resistência dos pernos, apresenta-se a seguir o procedimento de verificação de resistência ao corte e ao esmagamento.

- Pernos M5 → Classe de resistência 45H (\approx classe 4.8) → $\sigma_{ced} \geq 340MPa$ [19]
- Carga máxima aplicada nos pernos (pela mola): $F_{mola} = 6414.4N$
- Força aplicada em cada um dos pernos: $F_{aplicada} = \frac{F_{mola}}{N_{pernos}} = 1069N$
- Área de resistência ao corte: $A_{corte} = 12.56mm^2$
- Área de resistência ao esmagamento: $A_{esm} = 16mm^2$
- Número de pernos a resistir à carga em simultâneo: $N_{pernos} = 6$
- Coeficiente de segurança global: $n_d = n_s \times n_L = 1.5 \times 1.0 = 1.5$; onde se considerou, um coeficiente de segurança para a incerteza das propriedades do material $n_s = 1.5$, e para a carga de $n_L = 1.0$ (associado à carga aplicada gradualmente).

Verificação dos pernos ao corte

De acordo com o código AISC [19] → $\tau_{adm} = 0.4\sigma_{ced}$

$$\tau_{aplicada} = \frac{F_{aplicada}}{A_{corte}} < \frac{\tau_{adm}}{n_d} \Leftrightarrow \tau_{aplicada} = 85.11MPa < 90.7MPa$$

Logo os pernos resistem ao carregamento ao corte.

Verificação dos pernos ao esmagamento

De acordo com o código AISC [19] → $\sigma_{adm} = 0.9\sigma_{ced}$

$$\sigma_{aplicada} = \frac{F_{aplicada}}{A_{esm}} < \frac{\sigma_{adm}}{n_d} \Leftrightarrow \sigma_{aplicada} = 66MPa < 204MPa$$

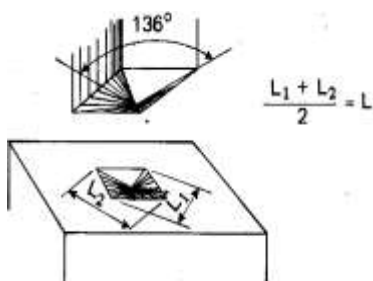
Logo os pernos resistem ao esmagamento

Anexo 3. Equipamento de Medição de Durezas

A dureza é a propriedade característica dos materiais no estado sólido que expressa a resistência a deformações permanentes e está diretamente relacionada com a força de ligação dos átomos. Este tipo de ensaios mecânicos é realizado com grande frequência devido aos seguintes fatores:

- Simplicidade e baixo custo – não é necessário a preparação de outro material e o equipamento é relativamente pouco dispendioso;
- Ensaios não destrutivos – o material não é fraturado ou excessivamente deformado, sendo apenas efetuada uma pequena impressão;
- Outras propriedades mecânicas podem ser obtidas através dos ensaios de dureza, como a tensão máxima de tração.

O ensaio de dureza realizado foi o ensaio Vickers, que se caracteriza por um indentador de base quadrada com um ângulo de 136° entre as faces opostas.



Pormenor do indentador, pirâmide de diamante com um ângulo de 136° entre as fases opostas

Os ensaios foram realizados num equipamento Struers Duramin $\frac{1}{2}$, cuja capacidade de medição é de $250\mu\text{m}$ para uma ampliação de 40x, e respetiva resolução de $0.01\ \mu\text{m}$.



Durómetro utilizado para a realização dos ensaios de dureza neste trabalho

Anexo 4. Ensaios de Dureza

Cinta Original	1	2	3	4	5
1kgf	121	119	125	118	123
2kgf	127	124	122	120	123

Latão CuZn40Pb2	1	2	3	4	5
1kgf	118	124	121	116	125
2kgf	122	119	121	122	122

Anexo 5. Dados de Fabrico do Projétil

Espoleta

Matéria-prima	Dimensões do Bruto de Maquinagem [mm]	Dimensões do Bruto de Maquinagem (com corte) [mm]	Peso [kg]	Operações	Equipamento
Aço AISI 1045	Ø110 x 100	Ø110 x 110	5.93	Torneamento	Torno CNC
				Rosca	

Chassis de Suporte

Matéria-prima	Dimensões do Bruto de Maquinagem [mm]	Dimensões do Bruto de Maquinagem (com corte) [mm]	Peso [kg]	Operações	Equipamento
Aço AISI 1045	Ø95 x 68	Ø95 x 78	3.4	Fresagem	Torno CNC
				Torneamento	

Corpo principal do projétil

Matéria-prima	Dimensões do Bruto de Maquinagem [mm]	Dimensões do Bruto de Maquinagem (com corte) [mm]	Peso [kg]	Operações	Equipamento
Tubo mecânico sem costura DIN 20MnV 6	Øext 110 Øint 75 x 300	Øext 110 Øint 75 x 310	8.01	Torneamento	Torno mecânico
				Rosca	

Corpo de acoplamento do projétil

Matéria-prima	Dimensões do Bruto de Maquinagem [mm]	Dimensões do Bruto de Maquinagem (com corte) [mm]	Peso [kg]	Operações	Equipamento
Tubo mecânico sem costura DIN 20MnV 6	Øext 110 Øint 75 x 110	Øext 110 Øint 75 x 120	3.54	Torneamento	Torno mecânico
				Rosca	

Punção

Matéria-prima	Dimensões do Bruto de Maquinagem [mm]	Dimensões do Bruto de Maquinagem (com corte) [mm]	Peso [kg]	Operações	Equipamento
Aço AISI D3	Ø42 x 40	Ø42 x 50	0.51	Torneamento	Torno mecânico
				Fresagem	Fresadora

Matriz

Matéria-prima	Dimensões do Bruto de Maquinagem [mm]	Dimensões do Bruto de Maquinagem (com corte) [mm]	Peso [kg]	Operações	Equipamento
Aço AISI D3	Ø55 x 20	Ø55 x 30	0.34	Torneamento	Torno mecânico

Membrana Fusível

Matéria-prima	Dimensões do Bruto de Maquinagem [mm]	Dimensões do Bruto de Maquinagem (com corte) [mm]	Peso [kg]	Operações	Equipamento
Aço AISI 1045	Ø42 x 45	Ø42 x 55	0.52	Torneamento	Torno mecânico
				Fresagem	Fresadora

Suporte da matriz

Matéria-prima	Dimensões do Bruto de Maquinagem [mm]	Dimensões do Bruto de Maquinagem (com corte) [mm]	Peso [kg]	Operações	Equipamento
Aço AISI 1045	Ø65 x 20	Ø65 x 30	0.45	Torneamento	Torno mecânico
				Furação	Fresadora

Veio

Matéria-prima	Dimensões do Bruto de Maquinagem [mm]	Dimensões do Bruto de Maquinagem (com corte) [mm]	Peso [kg]	Operações	Equipamento
Aço AISI 1045	Ø25 x 320	Ø25 x 330	0.83	Torneamento	Torno mecânico
				Fresagem	Fresadora

Êmbolo

Matéria-prima	Dimensões do Bruto de Maquinagem [mm]	Dimensões do Bruto de Maquinagem (com corte) [mm]	Peso [kg]	Operações	Equipamento
Aço AISI 1045	Ø75 x 45	Ø75 x 55	1.27	Torneamento	Torno mecânico
				Fresagem	Fresadora

Cinta de Travamento

Matéria-prima	Dimensões do Bruto de Maquinagem [mm]	Dimensões do Bruto de Maquinagem (com corte) [mm]	Peso [kg]	Operações	Equipamento
Bronze CB3	Øext 111 x Øint 90 x 35	Øext 111 x Øint 90 x 45	1.43	Torneamento	Torno mecânico
				Abertura de rosca	

Tampa

Matéria -prima	Dimensões do Bruto de Maquinagem [mm]	Dimensões do Bruto de Maquinagem (com corte) [mm]	Peso [kg]	Operações	Equipamento
Aço AISI 1045	Ø100 x 40	Ø100 x 50	2	Torneamento	Torno mecânico

Anexo 6. Programação

Espoleta

<p>Fase 1</p> <p>%</p> <p>O0090 (Espoleta – Parte Roscada);</p> <p>T0303 (Desbaste);</p> <p>G50 S1500 M03;</p> <p>G96 S200;</p> <p>G00 X120. Z2. M08;</p> <p>Z0;</p> <p>G01 X-1.5 F.25;</p> <p>G00 Z2.;</p> <p>G00 X112.;</p> <p>G71 U1. R2.;</p> <p>G71 P1 Q2 U.5 W.05 F.25;</p> <p>N1 G00 X18.;</p> <p>G01 Z0;</p> <p>X20. Z-1.;</p> <p>G01 Z-8.;</p> <p>G01 X32.983;</p> <p>G01 Z-23.;</p> <p>X104.;</p> <p>Z-43.;</p> <p>N2 G01 X115.;</p> <p>G00 X120. Z200.;</p> <p>T0101 (Acabamento);</p> <p>G50 S1800 M03;</p> <p>G96 S200;</p> <p>G42;</p> <p>G00 X120. Z2.;</p> <p>G70 P1 Q2 F.15;</p> <p>G00 X150. Z200.;</p> <p>G40;</p> <p>T505 (Abertura de Rosca);</p> <p>G00 X22. Z2.;</p> <p>G97 S400 M03;</p> <p>G76 P01 00 60 R.1 Q100;</p> <p>G76 X17.9 Z-7.6 Q100 P0974 F1.5;</p> <p>G00 X50. Z200.;</p> <p>M30;</p> <p>%</p>	<p>Fase 2</p> <p>%</p> <p>O0091 (Espoleta – Parte Esférica);</p> <p>T0303 (Desbaste);</p> <p>G50 S1500 M03;</p> <p>G96 S250;</p> <p>G00 X120. Z2. M08;</p> <p>Z0;</p> <p>G01 X-1.5 F.25;</p> <p>G01 Z2.;</p> <p>G00 X112.;</p> <p>G71 U1. R2.;</p> <p>G71 P1 Q2 U.5 W.05 F.25;</p> <p>N1 G00 X0;</p> <p>G01 Z0;</p> <p>G01 Z-3.841;</p> <p>G03 X93.282 Z-39.63 R48.286;</p> <p>G01 X104. Z-59.631</p> <p>N2 X115;</p> <p>G00 X120 Z200;</p> <p>T0101 (Acabamento);</p> <p>G50 S1800 M03;</p> <p>G96 S200;</p> <p>G42;</p> <p>G00 X120. Z2.;</p> <p>G70 P1 Q2 F.15;</p> <p>G00 X150. Z200.;</p> <p>G40;</p> <p>M30;</p> <p>%</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Chassis de Suporte

Fase 1	Fase 2
%	%
O0092 (Chassis de Suporte – Parte Interior);	O0093 (Chassis de Suporte – Parte Exterior);
T0303 (Facejamento);	T0303 (Desbaste Exterior);
G50 S1500 M03;	G50 S1500 M03;
G96 S200;	G96 S250;
G00 X100. Z2. M08;	G00 X100. Z2.;
Z0;	G71 U1. R1.;
G01 X-1.5 F.25;	G71 P1 Q2 U.5 W.05 F.25;
G00 Z2.;	N1 G00 X86.;
G00 X97.;	G01 Z0;
G00 X100. Z150.;	X90. Z-2.;
T0707 (Broca de Ponto);	Z-38.;
G97 S2500 M03;	X86. Z-40.;
G00 X0 Z2.;	Z-44.;
G01 Z-5. F.15;	X89.;
G00 Z100.;	X90. Z-44.5;
T0606 (Furação com Broca de 12mm);	Z-47.5;
G97 S950 M03;	X89. Z-48.;
G00 X0 Z2.;	N2 Z-50.;
G83 Z-76. Q5000 F.15;	G00 X100. Z150.;
G00 Z100.;	T0101 (Acabamento Exterior);
G80;	G50 S1800 M03;
T0707 (Furação com Broca de 25mm);	G96 S200;
G97 S140 M03;	G42;
G00 X0 Z2.;	G00 X100. Z2.;
G83 Z-76. Q5000 F.15;	G70 P1 Q2 F.15;
G00 Z30.;	G00 X100. Z150.;
G80;	G40;
G00 X100. Z150.;	T0808 (Abertura de Caixa Exterior);
T0202 (Desbaste Interior);	G50 S1000 M03;
G50 S1500 M03;	G96 S80;
G96 S200;	G00 X95. Z2.;
G00 X24.;	G01 Z-43. F.05;
Z2.;	X84.80;
G71 U1. R1.;	X95.;
G71 P1 Q2 U-.5 W.05 F.25;	Z-44.;
N1 G00 X58.40;	X84.80;
G01 Z0;	X95.;
G01 X57.40 Z-0.5;	G00 X100. Z150.;

Z-7.; X52.415; X52.015 Z-7.2; Z-12.; X39.213; X39.013 Z-12.2; Z-40.; X33.213; X33.013 Z-40.2; N2 Z-50.; G00 X100. Z150.; T0101 (Acabamento Interior); G50 S1800 M03; G96 S200; G41; G00 X24.; Z2.; G70 P1 Q2 F.15; G00 Z150.; G00 X100.; G40; T0808 (Abertura de Caixa 3mm); G50 S1000 M03; G96 S80; G00 X55. Z2.; Z-7.; G01 X60.40 F.05; X55.; G00 Z2.; G00 X100. Z150.; T0505 (Abertura de Rosca Interior ESQUERDA); G00 X57.40 Z2.; G97 S400 M04; G76 P01 11 60 R.1 Q100; G76 X60 Z-4.5 Q100 P0974 F.05; G01 X50.; G00 Z2.; G00 X100. Z150.; M30; %	T505 (Abertura de Rosca); G00 X90. Z2.; G97 S400 M03; G76 P01 00 60 R.1 Q100; G76 X86.932 Z-40. Q100 P1632 F2.5; G00 X100. Z150.; T1111 (furos descentrados); M45; G00 G28 H0; G00 X36.5 Z2.; G97 S400 M03; G83 Z-9. F.15; H180.; G80; M05; M44; G00 X100. Z150.; M30; %
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Punção

<p>Fase 1</p> <p>%</p> <p>O0099 (Punção – Pt Frente);</p> <p>T0303 (Desbaste);</p> <p>G50 S1500 M03;</p> <p>G96 S200;</p> <p>G00 X47. Z2. M08;</p> <p>G00 Z0;</p> <p>G01 X-1.5 F.25;</p> <p>G00 Z2.;</p> <p>G00 X47.;</p> <p>G71 U1. R2.;</p> <p>G71 P1 Q2 U.5 W.05 F.25;</p> <p>N1 G00 X19.993;</p> <p>G01 Z0;</p> <p>Z-13.;</p> <p>X38.983;</p> <p>Z-30.;</p> <p>N2 G01 X42.;</p> <p>G00 X50. Z150.;</p> <p>T0101 (Acabamento);</p> <p>G50 S1800 M03;</p> <p>G96 S200;</p> <p>G42;</p> <p>G00 X47. Z2.;</p> <p>G70 P1 Q2 F.15;</p> <p>G00 X50. Z150.;</p> <p>G40;</p> <p>T0707 (Furos Descentrados);</p> <p>M45;</p> <p>G00 G28 H0;</p> <p>X28. Z-10.;</p> <p>G97 S400 M03;</p> <p>G83 Z-4. F.01;</p> <p>H180;</p> <p>M05;</p> <p>G80;</p> <p>M44;</p> <p>G00 Z100.;</p> <p>M30;</p>	<p>Fase 2</p> <p>O0100 (Punção – Pt Tras);</p> <p>T0303 (Desbaste);</p> <p>G50 S1500 M03;</p> <p>G96 S200;</p> <p>G00 X47. Z2. M08;</p> <p>G00 Z0;</p> <p>G01 X-1.5 F.25;</p> <p>G00 Z2.;</p> <p>G00 X47.;</p> <p>G71 U1. R2.;</p> <p>G71 P1 Q2 U.5 W.05 F.25;</p> <p>N1 G00 X0;</p> <p>G01 Z0;</p> <p>Z-21.;</p> <p>N2 G01 X42.;</p> <p>G00 X50. Z150.;</p> <p>T0101 (Acabamento);</p> <p>G50 S1800 M03;</p> <p>G96 S200;</p> <p>G42;</p> <p>G00 X42. Z2.;</p> <p>G70 P1 Q2 F.15;</p> <p>G00 X50. Z100.;</p> <p>G40;</p> <p>T505 (Abertura de Rosca);</p> <p>G00 X18.15 Z2.;</p> <p>G97 S400 M03;</p> <p>G76 P01 11 60 R.1 Q100;</p> <p>G76 X20 Z-8. Q100 P0974 F1.5;</p> <p>G01 X18.;</p> <p>G01 Z2.;</p> <p>G00 X100. Z150.;</p> <p>M30;</p> <p>%</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Membrana Fusível

<p>Fase 1</p> <p>%</p> <p>O0101 (Membrana Fusível – Parte Frente);</p> <p>T0303 (Facejamento);</p> <p>G50 S1500 M03;</p> <p>G96 S200;</p> <p>G00 X47. Z2. M08;</p> <p>G00 Z0;</p> <p>G01 X-1.5 F.25;</p> <p>G00 Z2.;</p> <p>G00 X50. Z150.;</p> <p>T1010 (Broca de Ponto);</p> <p>G97 S2500 M03;</p> <p>G00 X0 Z2.;</p> <p>G01 Z-5. F.15;</p> <p>G00 Z100.;</p> <p>T0606 (Furação com Broca de 3mm);</p> <p>G97 S950 M03;</p> <p>G00 X0 Z2.;</p> <p>G83 Z-30. Q5000 F.15;</p> <p>G00 Z100.;</p> <p>G80;</p> <p>T0606 (Furação com Broca de 10.5mm);</p> <p>G97 S950 M03;</p> <p>G00 X0 Z2.;</p> <p>G83 Z-12. Q5000 F.15;</p> <p>G00 Z100.;</p> <p>G80;</p> <p>T0606 (Rosca Interior M12x1.5);</p> <p>G97 G00 X0 Z5.;</p> <p>M29 S200;</p> <p>G84 Z-10. F1.5;</p> <p>G00 Z100.;</p> <p>G80;</p> <p>T0303 Desbaste);</p> <p>G50 S1500 M03;</p> <p>G96 S200;</p> <p>G00 X47. Z2. M08;</p> <p>G71 U1. R2.;</p> <p>G71 P1 Q2 U.5 W.05 F.25;</p>	<p>Fase 2</p> <p>%</p> <p>O0102 (Membrana Fusível – Parte Trás);</p> <p>T0303 (Desbaste);</p> <p>G50 S1500 M03;</p> <p>G96 S200;</p> <p>G00 X47. Z2. M08;</p> <p>G00 Z0;</p> <p>G01 X-1.5 F.25;</p> <p>G00 Z2.;</p> <p>G00 X47.;</p> <p>G71 U1. R2.;</p> <p>G71 P1 Q2 U.5 W.05 F.25;</p> <p>N1 G00 X0;</p> <p>G01 Z0;</p> <p>Z-12.;</p> <p>N2 G01 X47.;</p> <p>G00 X50. Z150.;</p> <p>T0101 (Acabamento);</p> <p>G50 S1800 M03:</p> <p>G96 S200;</p> <p>G42;</p> <p>G00 X47. Z2.;</p> <p>G70 P1 Q2 F.15;</p> <p>G00 X50. Z150.;</p> <p>G40;</p> <p>M30;</p> <p>%</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

N1 G00 X20.40; G01 Z0; Z-20.; X38.991; Z-27.; N2 G01 X47.; G00 X50. Z150.; T0101 (Acabamento); G50 S1800 M03; G96 S200; G42; G00 X47. Z2.; G70 P1 Q2 F.15; G00 X50. Z150.; G40; M30; %	
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Tampa

Fase 1 % O0096 (Tampa – Parte Interior); T0303 (Desbaste); G50 S1500 M03; G96 S200; G00 X102. Z2. M08; G00 Z0; G01 X-1.5 F.25; G00 Z2.; G00 X102.; G71 U1. R2.; G71 P1 Q2 U.5 W.05 F.25; N1 G00 X78.994.; G01 Z0; G01 X80.994. Z-1.; G01 Z-11.; G01 X94.92; G01 Z-23.; N2 G01 X102.; G00 X120. Z200.; T0101 (Acabamento);	Fase 2 % O0097 (Espoleta – Parte Exterior); T0303 (Desbaste); G50 S1500 M03; G96 S250; G00 X120. Z2. M08; Z0; G01 X-1.5 F.25; G01 Z2.; G00 X112.; G71 U1. R2.; G71 P1 Q2 U.5 W.05 F.25; N1 G00 X0; G01 Z0; G01 Z-3.841; G03 X93.282 Z-39.63 R48.286; G01 X104. Z-59.631 N2 X115; G00 X120 Z200; T0101 (Acabamento); G50 S1800 M03;
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

G50 S1800 M03; G96 S200; G42; G00 X102. Z2.; G70 P1 Q2 F.15; G00 X120. Z200.; G40; T0808 (Abertura de Caixa Exterior); G50 S1000 M03; G96 S80; G00 X82. Z2.; G01 Z-5.75. F.05; X74.594; X82.; Z-7.75; X74.594; X82.; G00 X120. Z200.; T0707 (Abertura de Ponto); G97 S2500 M03; G00 X0 Z2.; G01 Z-5. F.15; G00 Z200.; T0606 (Furação com Broca de 4mm); G97 S950 M03; G00 X0 Z2.; G83 Z-23. Q10000 F.15; G00 Z200.; G80 T0606 (Furação com Broca de 11mm); G97 S950 M03; G00 X0 Z2.; G83 Z-6. Q10000 F.15; G00 Z200.; G80 T0202 (Desbaste Interior); G50 S1500 M03; G96 S200; G00 X17.; Z2.; G71 U1. R1.; G71 P1 Q2 F.25;	G96 S200; G42; G00 X120. Z2.; G70 P1 Q2 F.15; G00 X150. Z200.; G40; M30; %
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------

N1 G01 Z0 ; G01 X11. Z-2.; X10.; N2 Z2.; G00 X120. Z200.; M30; %	
------------------------------------------------------------------------------------	--

Anexo 7. Plano de Ensaios

Ensaio		Condição do Projétil FIREND (Cartucho: Carga 1)	Punção			Tipo de Membrana Fusível			Anel de Esmagamento	Cinta de Travamento		Carga	
			12	12,5	13	1	1.5	2	Neoprene	CuZn40Pb2 (HV120)	1705CuSn12 (HV150)	Airsoft	Paintball
1	FZ	Alta Rigidez de Detonação + Fácil Saída do Obus	X					X	X	X		X	
2	PV	Muito Baixa Rigidez de Detonação + Fácil Saída do Obus			X	X			X	X			X
3	LB	Média Rigidez de Detonação + Fácil Saída do Obus		X			X		X	X		X	
4	BJ	Baixa Rigidez de Detonação + Fácil Saída do Obus			X	X			X	X			X
5	ZG	Alta Rigidez de Detonação + Difícil Saída do Obus		X				X	X		X		X

Anexo 8. Desenho de Conjunto

